

発光素子及びその製造方法

関連する出願

本願は、2002 年 10 月 23 日に出願された日本特許出願 特願 2002-308940、
5 2002 年 10 月 23 日に出願された特願 2002-308951、2002 年 11 月 29 日に出願
された特願 2002-349205、2002 年 11 月 29 日に出願された特願 2002-349259
及び 2002 年 12 月 26 日に出願された特願 2002-378578 に基づいて優先権主張
している。

10

発明の背景

1. 技術分野

この発明は発光素子及び発光素子の製造方法に関する。

2. 背景技術

(第一発明、第二発明)

15 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ 混晶(ただし、 $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ (以下、AlGaInP 混晶、
あるいは単にAlGaInPとも記載する)により発光層部が形成された発光素子は、薄
いAlGaInP活性層を、それよりもバンドギャップの大きいn型AlGaInPクラッド層と
p型AlGaInPクラッド層とによりサンドイッチ状に挟んだダブルヘテロ構造を採用す
ることにより、高輝度の素子を実現できる。また、近年では、 $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$ (た
20 だし、 $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $x+y \leq 1$)を用いて同様のダブルヘテロ構造を形成し
た青色発光素子も実用化されている。

例えば、AlGaInP発光素子を例に取れば、n型GaAs基板上にヘテロエピタキシ
ヤル成長させる形にて、n型GaAsバッファ層、n型AlGaInPクラッド層、AlGaInP
活性層、p型AlGaInPクラッド層をこの順序にて積層し、ダブルヘテロ構造をなす
25 発光層部を形成する。発光層部への通電は、素子表面に形成された金属電極を介
して行なわれる。ここで、金属電極は遮光体として作用するため、例えば発光層部

主表面の中央部のみを覆う形で形成され、その周囲の電極非形成領域から光を取り出すようにする。

この場合、金属電極の面積をなるべく小さくしたほうが、電極の周囲に形成される光漏出領域の面積を大きくできるので、光取出し効率を向上させる観点において有利である。従来、電極形状の工夫により、素子内に効果的に電流を拡げて光取出量を増加させる試みがなされているが、この場合も電極面積の増大はいずれにしろ避けがたく、光漏出面積の減少により却って光取出量が制限されるジレンマに陥っている。また、クラッド層のドーパントのキャリア濃度ひいては導電率は、活性層内でのキャリアの発光再結合を最適化するために多少低めに抑えられており、面内方向には電流が広がりにくい傾向がある。これは、電極被覆領域に電流密度が集中し、光漏出領域における実質的な光取出量が低下してしまうことにつながる。そこで、クラッド層と電極との間に、キャリア濃度（ドーパント濃度）を高めた低抵抗率の電流拡散層を形成する方法が採用されている。電流拡散層は、有機金属気相成長法（MetalOrganic Vapor Phase Epitaxy: MOVPE法）や、液相エピタキシャル成長法（Liquid Phase Epitaxy: LPE法）により形成される。

また、化合物半導体よりなる電流拡散層に代えて高導電率の酸化物透明電極層（例えば、ITO（Indium Tin Oxide）透明電極層）を、発光層部表面を覆うように形成する提案が、例えば特開平1-225178号公報、米国特許公報第5789768号、特開平6-188455号公報に開示されている。

ところで、上記のような発光素子においては、素子最表面に金属製のボンディングパッドを配置し、そのボンディングパッドに接合された電極ワイヤを介して発光層部への通電がなされる。特開平1-225178号公報に開示された酸化物透明電極層を用いる発光素子の構成では、ごく薄い電極接合層を介して酸化物透明電極層が発光層部に接するように形成される。酸化物透明電極層は導電率が金属並に高いため、厚さが小さくとも十分な電流拡散効果が得られる。しかし、電極ワイヤをボンディングパッドへ接合しようとする、接合による損傷の影響が発光層部に及びや

すく、不良を生じやすい欠点がある。

他方、化合物半導体よりなる電流拡散層を用いる構成では、電流拡散層は、面内方向に電流を十分に拡げるために、層厚をある程度大きく設定することが必要である。電流拡散層の厚さが大きくなることで、ワイヤを接合する際の損傷の影響はあ
5 る程度吸収できるため、不良発生の問題は生じにくい。しかし、このような電流拡散層は導電率を高めるために、ドーパント濃度を高める必要があるが、これにより次のような問題を生じやすくなる。

発光素子は、通電を継続するに伴い発光輝度が次第に低下する。例えば、一定電流により素子への通電を開始した直後に測定した発光輝度を初期輝度とし、積
10 算通電時間の経過に従い減少する発光輝度を追跡したとき、発光輝度が予め定められた限界輝度に到達する時間、あるいは評価通電時間を一定値（例えば1000時間）に固定したときの、初期輝度に対する評価通電時間経過後の輝度の比（以下、これを素子ライフと称する）は、素子寿命を評価するための一定の尺度となりえる。

電流拡散層を有する発光素子は、通電初期段階においては、クラッド層内のドー
15 パント濃度は適正な値を保持されているが、通電を継続すると、電流拡散層内の高濃度のドーパント原子の、クラッド層および活性層内への拡散が、電氣的な要因により促される。その過剰なドーパント濃度およびドーパント原子の拡散促進に伴って格子欠陥等が形成されると、活性層内またはp型クラッド層と活性層の界面には、非発光再結合中心となる電氣的な準位が形成される。その結果、発光再結合確率
20 が下がり、強度低下を引き起こす。すなわち、発光輝度の経時的な劣化が進みやすくなり、素子ライフが低下することにつながる。

また、MOVPE法やLPE法により成長しようとする、成長温度が高いために、ドーパント濃度を本来低く留めたいクラッド層側にドーパントが拡散しやすくなる問題もある。さらに、厚い電流拡散層を成長させるには長時間を要し、原料も多く必要に
25 なることから、製造能率の低下とコストの増大を招きやすい。

さらに、特開平1-225178号公報あるいは米国特許公報第5789768号に開

示されている酸化物透明電極層と電流拡散層とを併用する場合、酸化物透明電極層が特にITO電極層として形成されていると、電流拡散層を形成する化合物半導体の種類によっては、形成したITO電極層と電流拡散層との密着力が極端に低下することがある。このような状態になると、ITO電極層を形成済みの素子ウェーハ上に、
5 電極形成等のフォトリソグラフィ工程を実施したり、あるいはウェーハを素子チップにダイシングしたりする際に、ITO電極層の剥離が生じやすくなり、製品歩留まりの低下に直結する問題がある。

(第三発明)

また、第一発明及び第二発明と同じ背景技術につき、本発明者らが検討したところによると、ITOからなる透明導電層は、そのままでは素子側の化合物半導体層との接触抵抗が高くなりやすく、直列抵抗増大による発光効率の低下が避けがたくなることがわかった。例えば特開平1-225178号公報には、InGaAs層よりなる電極接合層を、ITO透明導電層の全面に対応させる形で素子側の化合物半導体層との間に介在させ、接触抵抗を減ずる方法が提案されている。しかし、電極接合層は
15 オーミックコンタクト確保のためバンドギャップエネルギーの低いInGaAs等で構成せざるを得ず、ごく薄く形成しても、光吸収による取出効率の低下が避け難い問題がある。また、透明電極を用いた場合でも、素子化の際には通電用ワイヤを接合するための金属製のボンディングパッドを透明電極上に配置しなければならない。この場合、導電性の良好な金属製のボンディングパッドの形成領域に駆動電圧が集
20 中しやすいため、光取出領域となるパッドの周囲領域では電流が不足して光取出効率が低下しやすく、ひいては透明電極を採用することによる効果が必ずしも十分に発揮できない問題がある。

発明の概要

25 第一発明の課題は、酸化物透明電極層を発光駆動用の電極として有し、かつ電極ワイヤをボンディングパッドへ接合する際の損傷の影響が発光層部に及びにくい

発光素子と、その製造方法とを提供することにある。

第二発明の課題の第一は、酸化物透明電極層を発光駆動用の電極として有し、かつ電極ワイヤをボンディングパッドへ接合する際の損傷の影響が発光層部に及びにくい発光素子と、その製造方法とを提供することにある。また、課題の第二は、
5 酸化物透明電極層としてITO電極層を形成する場合に、その密着力を大幅に向上でき、ひいてはITO電極層の剥離などの不具合を生じにくい発光素子を提供することにある。

第三発明の課題は、酸化物透明電極層を発光駆動用の電極として有し、かつ酸化物透明電極層による光取出効率の改善効果をより有効に引き出すことができる
10 発光素子を提供することにある。

(第一発明)

上記の課題を解決するために、第一発明の発光素子は、

第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有する化合物半導体よりなる発光層部を有し、第二導電
15 型クラッド層の主表面を覆う酸化物透明電極層を介して発光層部に発光駆動電圧を印加するようにした発光素子において、

酸化物透明電極層上に金属製のボンディングパッドが配置され、該ボンディングパッドに通電用の電極ワイヤが接合されてなり、

また、第二導電型クラッド層と酸化物透明電極層との間には、第二導電型クラッド
20 層よりもドーパント濃度が低い化合物半導体層により構成されたクッション層が配置されたことを特徴とする。

また、第一発明の発光素子の製造方法は、第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有する化合物半導体よりなる発光層部を有し、第二導電型クラッド層の主表面を覆う酸化物透明電
25 極層を介して発光層部に発光駆動電圧を印加するようにした発光素子の製造方法において、

発光層部の第二導電型クラッド層上に、該第二導電型クラッド層よりもドーパント濃度が低い化合物半導体層により構成されたクッション層を形成する工程と、

そのクッション層を覆うように酸化物透明電極層を形成する工程と、

該酸化物透明電極層上に金属製のボンディングパッドを形成する工程と、

5 該ボンディングパッドに通電用の電極ワイヤを接合する工程と、

をこの順序にて行なうことを特徴とする。

上記第一発明によると、発光層部の第二導電型クラッド層上に、該第二導電型ク

ラッド層よりもドーパント濃度が低い化合物半導体層により構成されたクッション層

を形成し、そのクッション層上に酸化物透明電極層を形成し、該酸化物透明電極層

10 上のボンディングパッドに電極ワイヤを接合するようにしたから、接合時に損傷領域

が仮に生じても、その大半はクッション層内部に留まり、発光層部にその影響が及

びにくくなる。

例えばワイヤの接合を、超音波溶接や、これにさらに熱を付加するサーモソニック

ボンディングにより行なう場合、ボンディングパッド直下の化合物半導体層には、超

15 音波や加熱(さらには加圧)による衝撃応力が集中し、転位などの結晶欠陥が損傷

として導入される。その損傷領域が発光層部に及んだ場合、具体的には次のような

不具合につながる。

①発光輝度の直接的な低下。結晶欠陥による非発光遷移過程の増加が原因として
考えられる。

20 ②損傷領域が発光層部に及ぶと素子ライフが低下することにつながる。転位の形

成された発光層に通電を継続すると、転位に電流が集中して転位の増殖が起こり

やすくなり、発光輝度の経時的な劣化を引き起こす。

他方、第一発明の発光素子においては、クッション層は、これと接する第二導電

型クラッド層よりもドーパント濃度を低くしてある。すなわち、クッション層と第二導電

25 型クラッド層との間には、発光通電時において電氣的に促進されるドーパント原子

の拡散の向きとは逆向きの濃度勾配が形成されており、これが第二導電型クラッド

層内へのドーパント原子の流入を妨げる。その結果、発光層に対する損傷領域の影響が軽減されていることとも相俟って、素子ライフの大幅な向上を図ることができる。また、成長時にドーパントが第二導電型クラッド層に逆拡散する不具合も生じにくい。

- 5 該クッション層は、ドーパント濃度が低いので面内方向の導電率は小さいが、シート抵抗の小さい酸化物透明電極層を形成しておくことで、面内方向の電流拡散効果は十分に達成することができる。従って、クッション層は、層厚方向の導電性さえ十分に確保しておけば、結果として発光層部への均一な通電が可能となり、発光効率を高めることができる。

- 10 クッション層の厚さは、 $0.1\ \mu\text{m}$ 以上 $5\ \mu\text{m}$ 以下に調整することが望ましい。クッション層の厚さが $0.1\ \mu\text{m}$ 未満では、電極ワイヤ接合時の影響が発光層部へ及びやすくなる。また、クッション層の厚さが $5\ \mu\text{m}$ を超えると、ドーパント濃度が低く抑えられているために層厚方向の抵抗率が増し、素子の直列抵抗増大による発光効率低下につながる。また、厚いクッション層を成長させるには長時間を要し、原料も
- 15 多く必要になることから、製造能率の低下とコストの増大を招きやすい。クッション層の厚さは $0.5\ \mu\text{m}$ 以上 $3\ \mu\text{m}$ 以下とすることがより望ましい。

クッション層は第二導電型クラッド層と導電型を同一にする必要がある。特に、発光再結合が活性層のp型クラッド層との界面付近で生じやすいことを考慮すれば、光取出面側に位置するクッション層と第二導電型クラッド層とを、p型層として構成

20 することが望ましい。この場合、多数キャリア源となるp型ドーパントとしては、III-V族化合物半導体を用いる場合、ZnやMgを使用できる。III-V族化合物半導体よりなる発光層部としては、 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ （ただし、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ ；以下、「AlGaInP」とも記載する）又は $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$ （ $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $x+y \leq 1$ ；以下、「InGaAlN」とも記載する）により、第一導電型クラッド層、活性層及び第

25 二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有するものを例示できる。

特に、発光層部をAlGaInPにて構成し、第二導電型クラッド層を、Znをp型ドーパントとするp型クラッド層として構成する場合、Zn濃度の高い電流拡散層をこれと接して配置すると、Znのp型クラッド層への逆拡散が特に進みやすく、発光効率の低下を招きやすい。しかし、第一発明の場合、p型クッション層のZn濃度をp型クラッド層よりも低く設定することで、このようなZnの拡散の問題も効果的に回避することができる。

第二導電型クラッド層の多数キャリア濃度は、 $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 未満となっていることが望ましい。多数キャリア濃度が $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 未満では素子の直列抵抗が増大し、発光効率の低下を招く。また、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上になると、非発光再結合中心となる欠陥準位が形成されやすくなり、発光効率の低下を招く。第二導電型クラッド層の多数キャリア濃度は、 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上 $7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下とすることがより望ましい。

また、クッション層のドーパント濃度は、多数キャリア濃度の値にて、 $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $9 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下となっていることが望ましい。多数キャリア濃度が $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 未満では素子の直列抵抗が増大し、素子の順方向電圧の上昇を招く。他方、 $9 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ を超えると、該クッション層から発光層部側へのドーパント原子の電氣的要因による拡散が促進されやすくなり、素子ライフの低下を生ずることにつながる。クッション層のドーパント濃度は、 $9 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $6 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下とすることがより望ましい。

なお、ボンディングパッドへ電極ワイヤを接合したとき、その損傷の影響は、発光層部へはなるべく及ばないことが望ましいが、例えば損傷の影響が第二導電型クラッド層の表層部付近に留まり、活性層への影響が小さくてすむ場合は、発光輝度や素子ライフが損なわれる懸念はそれほど生じない。この場合、クッション層と第二導電型クラッド層との合計厚さが $0.6 \mu\text{m}$ 以上、望ましくは $1.0 \mu\text{m}$ 以上確保されていれば、接合による損傷の影響が活性層に及ぶことが効果的に回避できる。ただし、クッション層の厚さの好ましい上限値が $5 \mu\text{m}$ 程度であり、かつ、第二導電型クラッ

ド層のドーパント濃度は、前述の通り低く留めなければならない。従って、直列抵抗増大抑制の観点から、クッション層と第二導電型クラッド層との合計厚さは $10\text{ }\mu\text{m}$ 未満に留めることが望ましい。

- クッション層は、発光層部からの光をなるべく吸収しない材質にて構成することが、
- 5 光取出し効率を向上させる上で望ましい。そのためには、クッション層をなす化合物半導体として、発光層部の活性層よりもバンドギャップの大きいものを使用することが有効である。AlGaInPにて発光層部を構成する場合、クッション層の具体的な材質として、AlGaAs、GaP、GaAsP、AlGaAsPを例示できる。また、クッション層を上記のように薄く形成することは、光吸収抑制の観点においても有利に作用する。
- 10 後述の電極接合層をGaAsあるいはInGaAsにて構成する場合、AlGaAsPよりなるクッション層は、該電極接合層との格子整合性を高める観点において特に有効である。

- 発光層部及びクッション層は、有機金属気相成長法(MOVPE法)、液相エピタキシャル成長法(LPE法)、あるいはハイドライド気相成長法(Hydride Vapor Phase Epitaxial Growth Method:HVPE法)のいずれか、又はそれらの組合せにより形成することができる。特に、MOVPE法は高品質の発光層部が得やすく、発光効率を高める上で有利である。この場合、MOVPE法により、発光層部の成長と、それに続くクッション層の成長とを連続して行なうと効率的である。また、従来の発光素子のような厚い電流拡散層を、成長速度の比較的小さいMOVPE法により成長する
- 20 ることは、製造能率の大幅な低下につながるが、クッション層は前述のように薄く形成することが望ましいから、MOVPE法を採用しても能率低下の問題を生じにくい。

- 酸化物透明電極層は、例えばITOにて構成できる。ITOは、酸化スズをドーブした酸化インジウム膜であり、酸化スズの含有量を1～9質量%とすることで、電極層の抵抗率を $5 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 以下の十分低い値とすることができる。なお、ITO電極
- 25 層以外では、ZnO電極層が高導電率であり、第一発明に採用可能である。また、酸化アンチモンをドーブした酸化スズ(いわゆるネサ)、 Cd_2SnO_4 、 Zn_2SnO_4 、Zn

SnO₃、MgIn₂O₄、酸化イットリウム(Y)をドーブしたCdSb₂O₆、酸化スズをドーブしたGaInO₃なども酸化物透明電極層の材質として使用することができる。これらの導電性酸化物は可視光に対して良好な透過性を有し(つまり、透明であり)、発光層部への電圧印加用電極として用いる場合、光の取出しを妨げない利点がある。また、
5 該酸化物透明電極層上に形成されるボンディングパッドを介して素子駆動用の電圧を印加したとき、電流を面内に広げて発光を均一化し高効率化する役割も担う。これらの酸化物透明電極層は、公知の気相成膜法、例えば化学蒸着法(chemical vapor deposition: CVD)あるいはスパッタリングや真空蒸着などの物理蒸着法(physical vapor deposition: PVD)、あるいは分子線エピタキシャル成長法
10 (molecular beam epitaxy: MBE)にて形成することができる。例えば、ITO層やZnO電極層は高周波スパッタリング又は真空蒸着により製造でき、また、ネサ膜はCVD法により製造できる。また、これら気相成長法に代えて、ゾルーゲル法など他の方法を用いて形成してもよい。

ITO等の酸化物透明電極層は、化合物半導体層と直接接合しようとしたとき、良好なオーミック接合が必ずしも形成されず、接触抵抗に基づく直列抵抗増大により
15 発光効率が低下することがある。この場合、酸化物透明電極層の接触抵抗を減ずるための電極接合層を、酸化物透明電極層に接するように配置することにより、酸化物透明電極層の接触抵抗を下げるができる。ITOを使用する場合は、このような電極接合層として、例えばInGaAs層やGaAs層を使用することができる。

20 電極接合層とクッション層との接触抵抗は、発光素子の通電を長時間継続しても低い値に安定的に維持されること、つまり、接触抵抗の経時的な増大が生じにくくなっていることが重要である。接触抵抗の低減を図る一つの方法としては、電極接合層にクッション層と同じ導電型のドーパントを添加することが有効である。この場合、電極接合層へのドーパント添加量が高くなるほど、接触抵抗をより低くすることが
25 できる。なお、電極接合層からクッション層ヘドーパント拡散が比較的生じやすくなっている場合には、電極接合層のドーパント添加量がクッション層よりも過度に高くな

っていると、発光通電時において電極接合層からクッション層へのドーパント拡散が電氣的に促進されやすくなることがあり、電極接合層のドーパント量が次第に枯渇する場合がある。すると、発光通電を継続するに伴い電極接合層の接触抵抗が経時的に増加し、素子ライフの低下を招くことにつながる。

- 5 このような不具合を抑制するには、電極接合層中のドーパント濃度をクッション層よりも高く設定しつつ、電極接合層を構成する半導体として、これと接するクッション層よりもバンドギャップエネルギーが小さいものを使用することが望ましい。電極接合層側のバンドギャップエネルギーをクッション層よりも小さく設定することにより、
- 10 原子の拡散が生じにくくなり、電極接合層の接触抵抗が経時的に増加することを効果的に抑制することができる。

例えば、酸化物透明電極層がITO電極層の場合、電極接合層は、少なくともITO電極層との接合界面において、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) となっているものを使用することが望ましい。この場合、クッション層との接合側において電極接合層は $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$) とすることができ、クッション層は、これよりもバンドギャップエネルギーの大きい半導体として、例えば $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 < y \leq 1$) により構成することができる。クッション層は、この他、電極接合層よりもバンドギャップエネルギーが高くなるように混晶比が調整されたGaInP層、AlGaInP層、GaP層、GaAsP層あるいはAlGaAsP層により構成することも可能である。

- 20 また、電極接合層のドーパント濃度自体を下げることにより、クッション層への拡散を抑制する方法も可能である。この場合、電極接合層のドーパント濃度は、クッション層と同等又はそれよりも低いことが望ましい。また、電極接合層は、低ドーピングであっても酸化物透明電極層とのコンタクト抵抗が十分低くなり、かつ、クッション層との接触抵抗も同様に低くなっていることが必要であり、具体的には、クッション
- 25 層との間に極端に高いヘテロ接合障壁が形成されないものを使用することが望ましい。例えば、電極接合層を、ITO層側からInを拡散させたGaAsにて構成する場合、

クッション層を、InAs混晶比 y が比較的小さい $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ （例えば、 $0 \leq y \leq 0.2$ ）にて構成する組合せを例示できる。

5 なお、電極接合層を酸化物透明電極層への接合面全面を被覆するように形成すると、ワイヤ接合用のボンディングパッドの直下領域でも酸化物透明電極層の接触抵抗が改善される結果、駆動電流ひいては発光が該領域に集中しやすくなり、発生した光の多くがボンディングパッドにより遮蔽されて光取出効率の低下を招く場合がある。そこで、クッション層と酸化物透明電極層との間に、酸化物透明電極層の接合抵抗を減ずるための電極接合層が、該酸化物透明電極層に接するように配置されている場合、電極接合層は、ボンディングパッドの直下領域からなる第一領域において周囲の第二領域よりも形成面積率が小さくなっていることが望ましい。なお、各領域の電極接合層の形成面積率とは、領域中の電極接合層の合計面積を、領域の全面積により割った比率をいう。このように構成すると、第一領域における酸化物透明電極層の接触抵抗が増大する。その結果、発光素子の駆動電流は、第一領域を迂回して第二領域に流れる成分が大きくなり、光取出効率を大幅に高めることができる。なお、光取り出し量が少ない第一領域にはなるべく発光駆動電流が流れないことが光取出効率向上の観点においては望ましい。従って、第一領域には電極接合層が可及的に形成されていないことが望ましい。

20 電流拡散効果を高めるために電流拡散層を厚く形成した従来の発光素子においては、ボンディングパッドの直下領域外に電流を迂回させるために、電流拡散層中に逆の導電型を有するブロック層を埋め込み形成していたが、素子構造が複雑化し、製造工数も増大する欠点がある。しかし、上記構成によると、ボンディングパッド直下の第一領域において電極接合層の形成を抑制することで、その外側の領域、すなわち第二領域への電流迂回効果を簡単に達成することができる。また、酸化物透明電極層の下側に形成されているのは、シート抵抗の低いクッション層であるから、25 第二領域へ迂回した形で流れ込んだ電流が、クッション層内で第一領域側へ逆流する不具合も生じにくい。

次に、本発明者らが検討したところによると、酸化物透明電極層がITO電極層として形成されている場合、ITO電極層の下側に位置するクッション層がリンを含む化合物半導体、特に、リンをIII族元素の主体とするIII-V族化合物半導体である場合に、形成したITO電極層とクッション層との密着力が低下しやすいことが判明した。

- 5 前述の通り電極接合層は、発光波長に対応するエネルギーよりもバンドギャップエネルギーが小さく設定されるため、発光層部からの光吸収を避けるため、3~30nm程度の小さな膜厚で形成される。この場合、クッション層が、GaPなどのリンを含有した化合物半導体にて構成されていると、ITO電極層の成膜中の熱履歴や、ITO電極層成膜後の熱処理（例えば、ITO層からGaAs層へのIn拡散により、Inを
- 10 含有したGaAsよりなる電極接合層を形成する場合の拡散熱処理）の影響により、上記リンを含有した化合物半導体からリン成分が、薄い電極接合層を通過してITO層側に拡散し、これが原因となってITO電極層の密着力が低下することが考えられる。

- そこで、第一発明の発光素子は、次のように構成することが有効である。すなわち、
- 15 酸化物透明電極層はITO電極層であり、クッション層とITO電極層との間に、ITO電極層の接合抵抗を減ずるための電極接合層が、該ITO電極層に接するように配置され、クッション層がリンを含有したリン含有化合物半導体層とされ、該クッション層と電極接合層との間に、電極接合層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつリンの含有率がリン含有化合物半導体層よりも低いリンブロック層が形成される。
- 20 リンブロック層は、電極接合層よりもバンドギャップエネルギーが大きいため、発光層部からの発光光束に対する吸収は電極接合層より小さい。そして、電極接合層と反対側に位置するリン含有化合物半導体層よりはリンの含有率を低く設定してあるので、ITO電極層側に向けたリン拡散は生じにくい。従って、このようなリンブロック層を介挿することにより、クッション層をなすリン含有化合物半導体層からのリン成
- 25 分は、リンブロック層と電極接合層との双方を通過しなければ、ITO電極層に到達することができなくなる。その結果、ITO電極層へのリン拡散が大幅に抑制され、IT

○電極層の密着強度を向上させることができる。

リンブロック層はリンを含有しない化合物半導体により構成することが、ITO電極層へのリン拡散抑制効果を高める上でより望ましい。また、リンブロック層は、具体的にはAlGaAsにて構成することが、ITO電極層に向けたリン拡散の抑制と、発光層部からの発光光束に対する吸収抑制の双方の観点において望ましい。AlGaAsは、AlAsとGaAsとの混晶であり、AlAs混晶比を b とすると、 $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{As}$ と表され、活性層よりもバンドギャップエネルギーが大きくなるように、その混晶比 b が適宜調整される(従って、活性層の材質によって b の値は異なる)。この場合、活性層のバンドギャップエネルギーよりも、AlGaAsよりなるリンブロック層のバンドギャップエネルギーは、光吸収が生じないように、最低でも0.1eV以上は大きくすることが望ましい。他方、耐湿性確保を考慮して、AlGaAsよりなるリンブロック層のAlAs混晶比 b は、0.85以下の範囲で調整することが望ましい。

また、ITO層へのリン拡散抑制効果を顕著なものとするためには、リンブロック層と電極接合層との合計厚さを20nm以上に調整することが望ましい。該合計厚さが20nm未満では、リン拡散抑制効果が顕著でなくなるので望ましくない。

この場合、リンブロック層は、クッション層を構成するリン含有化合物半導体よりもバンドギャップエネルギーが小さく、電極接合層よりはバンドギャップエネルギーが大きい中間層とすることができる。クッション層と電極接合層とのバンド端不連続値が大きい場合は、図8に示すように、接合によるバンドの曲がりにより、形成されるヘテロ障壁の高さ ΔE が大きくなり、コンタクト抵抗の増大につながる。そこで、図9に示すように、上記のような中間層を挿入すると、電極接合層と中間層、及び中間層とこれに接するクッション層とのそれぞれはバンド端不連続値が小さくなるので、各々形成される障壁高さ ΔE も小さくなる。その結果、直列抵抗が軽減されて、低い駆動電圧にて十分に高い発光強度を達成することが可能となる。そして、該中間層をリンブロック層としても機能するものとして構成しておけば、リン含有化合物半導体層となっているクッション層部分からの、ITO電極層へのリン拡散抑制効果も

同時に達成される。特に、クッション層がGaPよりなり、電極接合層がInを含有したGaAsよりなる場合、中間層を兼ねるリンブロック層として好適なものはAlGaAsである。

次に、第二導電型クラッド層がリンを含有したリン含有化合物半導体層とされる場合、クッション層自体を、電極接合層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつリンの含有率がリン含有化合物半導体層よりも低いリンブロック層として構成することも可能である。この場合、リンブロック層をなすクッション層に電極接合層が接して配置される。該構成では、クッション層自体をリンブロック層として構成することで、電極ワイヤを接合時に生ずる損傷領域の影響を活性層に及びにくくする効果と、ITO電極層へのリン拡散抑制効果とが同時に達成される。このようなリンブロック層をなすクッション層も、リンを含有しない化合物半導体にて構成することが望ましく、具体的にはAlGaAsにて構成することができる。

(第二発明)

上記の課題を解決するために、第二発明の発光素子の第一は、
第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有する化合物半導体よりなる発光層部を有し、第二導電型クラッド層の主表面を覆う酸化物透明電極層を介して発光層部に発光駆動電圧を印加するようにした発光素子において、

酸化物透明電極層上に金属製のボンディングパッドが配置され、該ボンディングパッドに通電用の電極ワイヤが接合されてなり、

酸化物透明電極層の接合抵抗を減ずるための化合物半導体よりなる電極接合層が、該酸化物透明電極層に接するように配置されてなり、

さらに、活性層と電極接合層との間に位置する第二導電型クラッド層を含む化合物半導体層をボンディング側半導体層として、該ボンディング側化合物半導体層は、ドープ濃度が $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 未満であり、かつ、厚さが $0.6 \mu\text{m}$ 以上 $10 \mu\text{m}$ 未満とされたことを特徴とする。

また、第二発明の発光素子の製造方法は、第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有する化合物半導体よりなる発光層部を有し、第二導電型クラッド層の主表面を覆う酸化物透明電極層を介して発光層部に発光駆動電圧を印加するようにした発光素子の製造方法

5 において、

発光層部の前記活性層上に、第二導電型クラッド層を含む化合物半導体層であるボンディング側半導体層を、ドーパント濃度が $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 未満となり、かつ、厚さが $0.6 \mu\text{m}$ 以上 $10 \mu\text{m}$ 未満となるように形成する工程と、

10 ボンディング側半導体層上に、酸化物透明電極層の接合抵抗を減ずるための化合物半導体よりなる電極接合層を形成する工程と、

酸化物透明電極層を、該電極接合層と接し、かつ第二導電型クラッド層の主表面を覆うように形成する工程と、

該酸化物透明電極層上に金属製のボンディングパッドを形成する工程と、

15 該ボンディングパッドに通電用の電極ワイヤを接合する工程と、

をこの順序にて行なうことを特徴とする。

上記第二発明によると、発光層部の活性層上に、第二導電型クラッド層を含む化合物半導体層であるボンディング側半導体層を、ドーパント濃度が $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 未満となり、かつ、厚さが $0.6 \mu\text{m}$ 以上 $10 \mu\text{m}$ 未満となるよ

20 うに形成し、該ボンディング側半導体層上に酸化物透明電極層を形成し、該酸化物透明電極層上のボンディングパッドに電極ワイヤを接合するようにした。ITO等の酸化物透明電極層は、ボンディング側半導体層と直接接合しようとしたとき、良好なオーミック接合が必ずしも形成されず、接触抵抗に基づく直列抵抗増大により発光効率が低下することがある。そこで、ボンディング側半導体層と酸化物透明電極層

25 との間に、該酸化物透明電極層の接合抵抗を減ずるための電極接合層を、該酸化物透明電極層に接するように配置する。そして、ボンディング側半導体層が上記の

ごとく形成されているので、接合時に損傷領域が仮に生じても、該損傷領域の影響はボンディング側半導体層の表層部に留まり、活性層にその影響が及びにくくなり、第二発明の課題の第一が解決される。

例えばワイヤの接合を、超音波溶接や、これにさらに熱を付加するサーモソニックボンディングにより行なう場合、ボンディングパッド直下の化合物半導体層には、超音波や加熱(さらには加圧)による衝撃応力が集中し、転位などの結晶欠陥が損傷として導入される。その損傷領域が活性層部に及んだ場合、具体的には次のような不具合を招く。

①発光輝度の直接的な低下。結晶欠陥による非発光遷移過程の増加が原因として考えられる。

②素子ライフの低下。転位の形成された発光層に通電を継続すると、転位に電流が集中して転位の増殖が起こりやすくなり、発光輝度の経時的な劣化を引き起こす。

しかしながら、第二発明の採用により、上記の不具合を効果的に回避することができる。

他方、第二発明の発光素子においては、第二導電型クラッド層を含むボンディング側半導体層のドーパント濃度を、上記のように比較的低く設定してある。その結果、第二導電型クラッド層内のドーパント原子の、電気的な拡散促進による濃度上昇が生じにくくなり、活性層に対する損傷領域の影響が軽減されていることとも相俟って、素子ライフの大幅な向上を図ることができる。

第二導電型クラッド層を含むボンディング側半導体層は、ドーパント濃度が比較的低いので面内方向の導電率は小さいが、シート抵抗の小さい酸化物透明電極層をその上に形成しておくことで、面内方向の電流拡散効果は十分に達成することができる。従って、ボンディング側半導体層は、層厚方向の導電性さえ十分に確保しておけば、結果として発光層部への均一な通電が可能となり、発光効率を高めることができる。

ボンディング側半導体層の厚さが $0.6\mu\text{m}$ 未満になると、接合による損傷の影響

が活性層に及びやすくなり、発光強度や素子ライフの低下につながる。他方、ボンディング側半導体層のドーパント濃度は比較的低く留められているので、その厚さが $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上になると、素子の直列抵抗が過度に増大する不具合につながる。

ボンディング側半導体層のドーパント濃度が $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 未満では素子の直列抵抗が増大し、素子の順方向電圧の上昇を招く。また、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上になると、活性層内でのキャリアの発光再結合が進みにくくなり、発光効率の低下を招く。

発光素子においては、発光再結合が活性層のp型クラッド層との界面付近で生じやすいことを考慮すれば、光取出面側に位置するボンディング側半導体層はp型層として構成することが望ましい。この場合、多数キャリア源となるp型ドーパントとしては、III-V族化合物半導体を用いる場合、ZnやMgを使用できる。III-V族化合物半導体よりなる発光層部としては、 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ (ただし、 $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$; 以下、「AlGaInP」とも記載する) 又は $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $x+y \leq 1$; 以下、「InGaAlN」とも記載する) により、第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有するものを例示できる。

ボンディング側半導体層は、第二導電型クラッド層と、該第二導電型クラッド層の酸化物透明電極層側に接して配置され、該第二導電型クラッド層よりも低いドーパント濃度の化合物半導体よりなるクッション層とすることができる。このようなクッション層を配置することにより、接合時に損傷領域が仮に生じても、その大半はクッション層内部に留まり、活性層はもちろん、第二導電型クラッド層にもその影響が及びにくくなり、発光強度や素子ライフの劣化をより効果的に抑制できる。

また、クッション層は、これと接する第二導電型クラッド層よりも低いドーパント濃度を有しているので、クッション層から第二導電型クラッド層内へのドーパント原子の流入が抑制され、素子ライフの大幅な向上を図ることができる。また、成長時にドーパントが第二導電型クラッド層に逆拡散する不具合も生じにくい。

クッション層は、発光層部からの光をなるべく吸収しない材質にて構成することが、光取出し効率を向上させる上で望ましい。そのためには、クッション層をなす化合物半導体として、発光層部の活性層よりもバンドギャップの大きいものを使用することが有効である。AlGaInPにて発光層部を構成する場合、クッション層の具体的な材質として、AlGaAs、GaP、GaAsP、AlGaAsPを例示できる。また、クッション層を薄く形成すると、光吸収抑制の観点において有利に作用する。クッション層の厚さは、具体的には0.1 μm 以上5 μm 以下に調整することが望ましい。クッション層の厚さが0.1 μm 未満では、ボンディング側半導体層の全厚が不足しやすくなり、電極ワイヤ接合時の影響が発光層部へ及びやすくなる。また、クッション層の厚さが5 μm を超えると、ドーパント濃度が低く抑えられているために層厚方向の抵抗率が増し、素子の直列抵抗増大による発光効率低下につながる。また、厚いクッション層を成長させるには長時間を要し、原料も多く必要になることから、製造能率の低下とコストの増大を招きやすい。クッション層の厚さは0.5 μm 以上3 μm 以下とすることがより望ましい。

一方、ボンディング側半導体層は、厚さが0.6 μm 以上10 μm 未満の第二導電型クラッド層よりなるものとして構成してもよい。つまり、第二導電型クラッド層を必要十分な厚さとすることで、損傷領域が活性層に及ぶことが防止可能である。また、同一材質のクラッド層の成長厚さを増大させるだけであるから、製造も容易である。この場合、第一導電型クラッド層は、ワイヤ接合に伴う損傷の影響を考慮する必要がないので、第二導電型クラッド層よりも薄く形成することが、製造コスト削減の観点において望ましい。

酸化物透明電極層は、第一発明とまったく同一のものを採用でき、例えばITOにて構成できる。

電極接合層は、具体的には、Alを含有せず、かつバンドギャップエネルギーが比較的小さい(例えば1.42 eV未満)化合物半導体からなるものを好適に採用することができる。このような電極接合層を用いることにより、良好なオーミックコンタクト

が得られ、また、Al成分酸化による抵抗増加も生じにくい。

電極接合層は、発光波長に対応するエネルギーよりもバンドギャップエネルギーが小さく設定される場合、発光層部からの光を吸収する作用を有するので、光取り出し効率向上のため、その厚さをなるべく小さくすることが望ましく、例えば3～30nm程度に設定することが望ましい。厚さが30nmを超えると光吸収の影響が大きくなり、3nm未満では、電極接合層をなす化合物半導体のバルクとしての結晶構造を維持が困難となり、接合抵抗低減効果が十分に得られなくなる。

酸化物透明電極層がITO電極層の場合、電極接合層は、例えばInGaAs層やGaAs層を使用することができる。該電極接合層は、(少なくとも)ITO電極層との接合界面において、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) となっていることにより、接触抵抗低減効果を特に高めることができる。 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ (ただし、 $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) により発光層を形成する場合、GaAs層をITO電極層と接するように形成し、その後、熱処理を行なうことにより、ITO電極層からGaAs層にInを拡散させて、Inを含有したGaAsよりなる電極接合層となすことができる。この場合、電極接合層の厚さ方向におけるIn濃度分布は、ITO電極層から厚さ方向に遠ざかるにつれ連続的に減少するものとなる。また、電極接合層は、ITO電極層との接合界面において、必ず $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ よりなるものとなる。

電極接合層はInGaAsを直接エピタキシャル成長する方法を採用してもよいのであるが、上記の方法を採用すると、次のような利点がある。すなわち、ボンディング側半導体層のこれと接する部分が、AlGaAs、GaPあるいはAlGaInPにて構成されている場合、GaAs層はこれらの化合物半導体と格子整合が極めて容易であり、InGaAsを直接エピタキシャル成長する場合と比較して、均質で連続性のよい膜を形成できる。

そして、そのGaAs層上にITO電極層を形成した後、熱処理することにより、ITO電極層からGaAs層にInを拡散させて電極接合層とする。このように熱処理して得られるInを含有したGaAsよりなる電極接合層は、In含有量が過剰とならず、ボン

ディング側半導体層との格子不整合による、発光強度低下などの品質劣化を効果的に防止することができる。

電極接合層の厚さ方向におけるIn濃度分布は、図15の①に示すように、ITO電極層から厚さ方向に遠ざかるにつれ連続的に減少するものとなるようにする(つまり、発光層部側にてIn濃度が小さくなるように、In濃度分布に傾斜をつける)ことが望ましい。こうした構造は、熱処理により、ITO側から電極接合層側へInを拡散させることにより形成される。発光層部をAlGaInPにより形成する場合、電極接合層のIn濃度分布が該発光層部側で小さくなっていれば、発光層部との格子定数差が接近し、発光層部と電極接合層との格子整合性をより高めることができる。熱処理温度が過度に高くなったり、あるいは熱処理時間が長大化すると、ITO電極層からのIn拡散が過度に進行して、図15の③に示すように、電極接合層内のIn濃度分布が厚さ方向にほぼ一定の高い値を示すようになり、上記の効果は得られなくなる(なお、熱処理温度が過度に低くなったり、あるいは熱処理時間が過度に短時間化すると、図15の②に示すように、電極接合層内のIn濃度が不足することにつながる)。

この場合、図15において、電極接合層の、ITO電極層との境界位置におけるIn濃度を C_A とし、これと反対側の境界近傍におけるIn濃度を C_B としたとき、 C_B/C_A が0.8以下となるように調整することが望ましく、該形態のIn濃度分布が得られるように、前述の熱処理を行なうことが望ましい。 C_B/C_A が0.8を超えると、In濃度分布傾斜による発光層部との格子整合性改善効果が十分に得られなくなる。なお、電極接合層の厚さ方向の組成分布(InあるいはGa濃度分布)は、層を厚さ方向に徐々にエッチングしながら、二次イオン質量分析(Secondary Ion Mass Spectroscopy: SIMS)、オージェ電子分光分析(Auger Electron Spectroscopy)、X線光電子分光(X-ray Photoelectron Spectroscopy: XPS)などの周知の表面分析方法により測定することができる。

電極接合層のITO電極層との境界近傍におけるIn濃度は、InとGaとの合計濃度に対するInの原子比にて、0.1以上0.6以下とされることが望ましく、上記の熱処

理もこのようなIn濃度が得られるように行なうことが望ましい。上記定義によるIn濃度が0.1未満になると、電極接合層の接触抵抗低減効果が不十分となり、0.6を超えると電極接合層と発光層部との格子不整合による、発光強度低下などの品質劣化が甚だしくなる。なお、電極接合層のITO電極層との境界近傍におけるIn濃度が、InとGaとの合計濃度に対するInの原子比にて、例えば前述の望ましい値(0.1以上0.6以下)を確保できるのであれば、電極接合層の、ITO電極層に面しているのと反対側の境界近傍でのIn濃度 C_B がゼロとなっていること、つまり、図16に示すように、電極接合層のITO電極層側にInGaAs層が形成され、反対側の部分がGaAs層となる構造となっても差し支えない。

- 10 ITOは、前述の通り酸化スズをドーパした酸化インジウム膜であり、ITO電極層をGaAs層上に形成し、さらにこれを適正な温度範囲にて熱処理することにより、上記望ましいIn濃度を有した電極接合層を容易に形成できる。また、この熱処理により、ITO電極層の電気抵抗率をさらに低減できる。この熱処理は、電極接合層内のIn濃度が過剰とならないよう、なるべく低温で短時間に行なうことが望ましい。
- 15 上記In拡散の熱処理は、600℃以上750℃以下に行なうことが望ましい。熱処理温度が750℃を超えるとGaAs層へのInの拡散速度が大きくなりすぎ、電極接合層中のIn濃度が過剰となりやすくなる。また、In濃度が飽和して、電極接合層の厚さ方向に傾斜したIn濃度分布も得にくくなる。いずれも、電極接合層とボンディング側半導体層との格子整合が悪化することにつながる。また、GaAs層へのInの
- 20 拡散が過度に進みすぎると、電極接合層との接触部付近にてITO電極層のInが枯渇し、電極の電気抵抗値の上昇が避けがたくなる。さらに、熱処理温度が750℃を超えて高温になりすぎると、ITOの酸素がGaAs層へ拡散して酸化が促進され、素子の直列抵抗が上昇しやすくなる。いずれも適正な電圧で発光素子を駆動できなくなる不具合につながる。また、熱処理温度が極端に高くなると、ITO電極層の導電
- 25 率がかえって損なわれる場合がある。他方、熱処理温度が600℃未満になると、GaAs層へのInの拡散速度が小さくなりすぎ、接触抵抗を十分に低下させた電極接

合層を得るのに非常な長時間を要するようになるので、製造能率の低下が甚だしくなる。

また、熱処理時間は、5秒以上120秒以下の短時間に設定することが望ましい。

- 5 熱処理時間が120秒より長くなると、特に、熱処理温度が上限値に近い場合、GaAs層へのInの拡散量が過剰となりやすくなる(ただし、熱処理温度を低めに留める場合は、これよりも長い熱処理時間(例えば300秒程度まで)を採用することも可能である)。他方、熱処理時間が5秒未満になると、GaAs層へのInの拡散量が不足し、接触抵抗を十分に低下させた電極接合層が得にくくなる。

- 10 電極接合層とボンディング側半導体層(電極接合層と接する部分:クッション層か第二導電型クラッド層のいずれかである)との接触抵抗は、発光素子の通電を長時間継続しても低い値に安定的に維持されること、つまり、接触抵抗の経時的な増大が生じにくくなっていることが重要である。接触抵抗の低減を図る一つの方法としては、電極接合層にボンディング側半導体層と同じ導電型のドーパントを添加することが有効である。この場合、電極接合層へのドーパント添加量が高くなるほど、接
- 15 触抵抗をより低くすることができる。なお、電極接合層からボンディング側半導体層へドーパント拡散が比較的生じやすくなっている場合には、電極接合層のドーパント添加量がボンディング側半導体層よりも過度に高くなっていると、発光通電時において電極接合層からボンディング側半導体層へのドーパント拡散が電氣的に促進されやすくなることがあり、電極接合層のドーパント量が次第に枯渇する場合があ
- 20 る。すると、発光通電を継続するに伴い電極接合層の接触抵抗が経時的に増加し、素子ライフの低下を招くことにつながる。

- このような不具合を抑制するには、電極接合層中のドーパント濃度をボンディング側半導体層よりも高く設定しつつ、電極接合層を構成する半導体として、これと接するボンディング側半導体層よりもバンドギャップエネルギーが小さいものを使用する
- 25 ことが望ましい。電極接合層側のバンドギャップエネルギーをボンディング側半導体層よりも小さく設定することにより、電極接合層中のドーパント濃度をある程度高く

しても、ボンディング側半導体層へのドーパント原子の拡散が生じにくくなり、電極接合層の接触抵抗が経時的に増加することを効果的に抑制することができる。

例えば、酸化物透明電極層がITO電極層の場合、電極接合層は、少なくともITO電極層との接合界面において、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) となっているものを使用することが望ましい。この場合、ボンディング側半導体層との接合側において電極接合層は $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$) とすることができ、ボンディング側半導体層は、これよりもバンドギャップエネルギーの大きい半導体として、例えば $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 < y \leq 1$) により構成することができる。ボンディング側半導体層は、この他、電極接合層よりもバンドギャップエネルギーが高くなるように混晶比が調整されたGaInP層、AlGaInP層、GaP層、GaAsP層あるいはAlGaAsP層により構成することも可能である。

また、電極接合層のドーパント濃度自体を下げることにより、ボンディング側半導体層への拡散を抑制する方法も可能である。この場合、電極接合層のドーパント濃度は、ボンディング側半導体層と同じか又はそれよりも低いことが望ましい。また、電極接合層は、低ドーピングであっても酸化物透明電極層とのコンタクト抵抗が十分低くなり、かつ、ボンディング側半導体層との接触抵抗も同様に低くなっていることが必要であり、具体的には、ボンディング側半導体層との間に極端に高いヘテロ接合障壁が形成されないものを使用することが望ましい。例えば、電極接合層を、ITO層側からInを拡散させたGaAsにて構成する場合、ボンディング側半導体層を、InAs混晶比 y が比較的小さい $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ (例えば、 $0 \leq y \leq 0.2$) にて構成する組合せを例示できる。

次に、ボンディング側半導体層の電極接合層との境界を含む部分を、該部分に対し前記電極接合層と反対側から接するボンディング側半導体層部分よりもバンドギャップエネルギーが小さく、電極接合層よりはバンドギャップエネルギーが大きい中間層とすることもできる。ボンディング側半導体層と電極接合層とのバンド端不連続値が大きい場合は、図17に示すように、接合によるバンドの曲がりにより、形成さ

れるヘテロ障壁の高さ ΔE が大きくなり、コンタクト抵抗の増大につながる。そこで、図18に示すように、上記のような中間層を挿入すると、電極接合層と中間層、及び中間層とこれに接するボンディング側半導体層部分とのそれぞれはバンド端不連続値が小さくなるので、各々形成される障壁高さ ΔE も小さくなる。その結果、直列抵抗が軽減されて、低い駆動電圧にて十分に高い発光強度を達成することが可能となる。なお、本明細書において電極接合層はボンディング側半導体層に属さず、中間層はボンディング側半導体層に属するものとして定義する。

ボンディング側半導体層が、該中間層と接する領域までAlGaInPよりなる第二導電型クラッド層となっている場合は、電極接合層との中間のバンドギャップエネルギーを有する中間層として、具体的には、AlGaAs層、GaInP層及びAlGaInP層（バンドギャップエネルギーがクラッド層より小さくなるように組成調整されたもの）の少なくとも一つを含むものを好適に採用することができ、例えばAlGaAs層を含むものとして形成することができる。他方、該中間層と同様の組成のクッション層が設けられる場合は、中間層の役割をこのクッション層に委ねることで、中間層を特に設けず、電極接合層をクッション層に接するように配置する構成も十分採用可能である。

なお、電極接合層を酸化物透明電極層の素子側への接合面全面を被覆するように形成すると、ワイヤ接合用のボンディングパッドの直下領域でも酸化物透明電極層の接触抵抗が改善される結果、駆動電流ひいては発光が該領域に集中しやすくなり、発生した光の多くがボンディングパッドにより遮蔽されて光取出効率の低下を招く場合がある。そこで、電極接合層は、ボンディングパッドの直下領域からなる第一領域において周囲の第二領域よりも形成面積率が小さくなっていることが望ましい。なお、各領域の電極接合層の形成面積率とは、領域中の電極接合層の合計面積を、領域の全面積により割った比率をいう。このように構成すると、第一領域における酸化物透明電極層の接触抵抗が増大する。その結果、発光素子の駆動電流は、第一領域を迂回して第二領域に流れる成分が大きくなり、光取出効率を大幅に高めることができる。なお、光取り出し量が少ない第一領域にはなるべく発光駆動電

流が流れないことが光取出効率向上の観点においては望ましい。従って、第一領域には電極接合層が可及的に形成されていないことが望ましい。

- 5 電流拡散効果を高めるために電流拡散層を厚く形成した従来の発光素子においては、ボンディングパッドの直下領域外に電流を迂回させるために、電流拡散層中に逆の導電型を有するブロック層を埋め込み形成していたが、素子構造が複雑化し、製造工数も増大する欠点がある。しかし、上記構成によると、ボンディングパッド直下の第一領域において電極接合層の形成を抑制することで、その外側の領域、すなわち第二領域への電流迂回効果を簡単に達成することができる。また、酸化物透明電極層の下側に形成されているのは、シート抵抗の低いクッション層であるから、
- 10 第二領域へ迂回した形で流れ込んだ電流が、クッション層内で第一領域側へ逆流する不具合も生じにくい。

- 次に、上記第二発明の発光素子の第一において、酸化物透明電極層がITO電極層である場合、以下のような構成が可能である。すなわち、ボンディング側半導体層を、少なくとも電極接合層との境界を含む第一層と、該第一層と活性層との間に
- 15 位置する第二層とを有してなるものとする。そして、第二層の少なくとも第一層との境界を含む領域を、リンを含有したリン含有化合物半導体層とし、他方、第一層が電極接合層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつリンの含有率がリン含有化合物半導体層よりも低いリンブロック層とする。

また、第二発明の発光素子の第二は、

- 20 第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有する化合物半導体よりなる発光層部を有し、第二導電型クラッド層の主表面を覆うITO明電極層を介して発光層部に発光駆動電圧を印加するようにした発光素子において、

- ITO電極層上に金属製のボンディングパッドが配置され、該ボンディングパッドに
- 25 通電用の電極ワイヤが接合されてなり、

ITO電極層の接合抵抗を減ずるための化合物半導体よりなる電極接合層が、該

酸化物透明電極層に接するように配置されてなり、

さらに、活性層と電極接合層との間に位置する第二導電型クラッド層を含む化合物半導体層をボンディング側半導体層として、該ボンディング側化合物半導体層は、厚さが $0.6\ \mu\text{m}$ 以上 $10\ \mu\text{m}$ 未満とされ、かつ、少なくとも電極接合層との境界を含む第一層と、該第一層と活性層との間に位置する第二層とを有してなり、第二層の少なくとも第一層との境界を含む領域がリンを含有したリン含有化合物半導体層とされ、他方、第一層が電極接合層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつリンの含有率がリン含有化合物半導体層よりも低いリンブロック層とされたことを特徴とする。

10 本発明者らが検討したところによると、酸化物透明電極層がITO電極層として形成されている場合、ITO電極層の下側に位置するボンディング側半導体層のうち、電極接合層と接している部分の化合物半導体がリンを含む化合物半導体、特に、リンをIII族元素の主体とするIII-V族化合物半導体である場合に、形成したITO電極層とボンディング側半導体層との密着力が低下しやすいことが判明した。

15 前述の通り電極接合層は、発光波長に対応するエネルギーよりもバンドギャップエネルギーが小さく設定されるため、発光層部からの光吸収を避けるため、 $3\sim 30\ \text{nm}$ 程度の小さな膜厚で形成される。この場合、ボンディング側半導体層のうち電極接合層と接している部分が、GaPなどのリンを含有した化合物半導体にて構成されていると、ITO電極層の成膜中の熱履歴や、ITO電極層成膜後の熱処理（例えば、ITO層からGaAs層へのIn拡散により、Inを含有したGaAsよりなる電極接合層を形成する場合の、拡散熱処理）の影響により、上記リンを含有した化合物半導体からP成分が、薄い電極接合層を通過してITO層側に拡散し、これが原因となってITO電極層の密着力が低下することが考えられる。

25 そこで、上記の構成では、ボンディング側半導体層を、電極接合層との境界を含む第一層と、該第一層と活性層との間に位置する第二層とを有するものとし、さらに、第二層の少なくとも第一層との境界を含む領域を、リンを含有したリン含有化合

物半導体層として構成する場合に、これと接する第一層を、電極接合層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつリンの含有率がリン含有化合物半導体層よりも低いリンブロック層とする。リンブロック層は、電極接合層よりもバンドギャップエネルギーが大きいため、発光層部からの発光光束に対する吸収は電極接合層より小さい。そして、電極接合層と反対側に位置するリン含有化合物半導体層よりはリンの含有率を低く設定してあるので、ITO電極層側に向けたリン拡散は生じにくい。従って、このようなリンブロック層を介挿することにより、リン含有化合物半導体層からのリン成分は、リンブロック層と電極接合層との双方を通過しなければ、ITO電極層に到達することができなくなる。その結果、ITO電極層へのリン拡散が大幅に抑制され、ITO電極層の密着強度を向上させることができ、第二発明の第二の課題が解決される。また、ボンディング側半導体層の全厚さは $0.6\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $10\text{ }\mu\text{m}$ 未満に設定してあるので、ボンディングパッドに電極ワイヤを接合する際に損傷領域が仮に生じても、該損傷領域の影響が活性層に及びにくい。

リンブロック層は、第一発明と同様、リンを含有しない化合物半導体により構成することが、ITO電極層へのリン拡散抑制効果を高める上でより望ましい。また、リンブロック層は、具体的にはAlGaAsにて構成することが望ましい。AlGaAsよりなるリンブロック層のバンドギャップエネルギーは、 0.1 eV 以上は大きくすることが望ましい。さらに、AlGaAsよりなるリンブロック層のAlAs混晶比 b は、 0.85 以下の範囲で調整することが望ましい。

また、リンブロック層と電極接合層との合計厚さを 20 nm 以上に調整することが望ましい。

リンブロック層は、ボンディング側半導体層の構成に応じて種々の形態に形成できる。例えば、ボンディング側半導体層は、第二導電型クラッド層と、該第二導電型クラッド層の酸化物透明電極層側に接して配置され、第二導電型クラッド層とは異なる組成の化合物半導体によりリン含有化合物半導体層として構成された補助化合物半導体層と、該補助化合物半導体層と電極接合層との間に配置されたリンブ

ロック層とからなるものとして構成できる。補助化合物半導体層の介在により、電極ワイヤを接合時に生ずる損傷領域の影響が活性層に及びにくくすることができる。

また、この補助化合物半導体層がリン含有化合物半導体層として構成されているにもかかわらず、リンブロック層の介在によりITO電極層へのリン拡散が大幅に抑制され、ITO電極層の密着強度を高めることができる。この場合、該補助化合物半導体層は、例えば可視光に対する透明性が高いGaPにて構成すると、光取出し効率を高めることができる。

この場合、ボンディング側半導体層の電極接合層との境界を含む部分を、該部分に対し電極接合層と反対側から接するボンディング側半導体層部分よりもバンドギャップエネルギーが小さく、電極接合層よりはバンドギャップエネルギーが大きい中間層とすることができる。図17及び図18を用いて既に説明した通り、このような中間層を設けることで、素子の直列抵抗を低減することができる。そして、該中間層をリンブロック層としても機能するものとして構成しておけば、リン含有化合物半導体層となっているボンディング側半導体層部分からの、ITO電極層へのリン拡散抑制効果も同時に達成される。特に、発光層部がAlGaInP似て構成される場合、既に例示した中間層の材質のうち、リンブロック層としても好適なものはAlGaAsである。

また、ボンディング側半導体層は、第二導電型クラッド層と、該第二導電型クラッド層の酸化物透明電極層側に接して配置され、第二導電型クラッド層とは異なる組成の化合物半導体によりリンブロック層として構成された補助化合物半導体層とからなるものとしても構成できる。この場合、該補助化合物半導体層に電極接合層が接して配置される。この場合も補助化合物半導体層の介在により、電極ワイヤを接合時に生ずる損傷領域の影響を活性層に及びにくくすることができる。そして、該構成では、補助化合物半導体層自体をリンブロック層として構成することで、ITO電極層へのリン拡散抑制効果も同時に達成される。このような補助化合物半導体層は、具体的にはAlGaAsにて構成することができる。

以上説明した補助化合物半導体層は、第二導電型クラッド層よりも低いドーパント

濃度の化合物半導体よりなるクッション層とすることができる。これにより、第二導電型クラッド層内へのドーパント原子の流入が抑制され、素子ライフの向上を図る効果も両立できる。また、補助化合物半導体層は、第二導電型クラッド層よりも高いドーパント濃度の化合物半導体層、例えば電流拡散層とすることも可能である(ただし、第二発明の第二の構成のみ)。この場合、素子ライフの向上効果については期待できないが、ITO電極層へのリン拡散抑制効果は問題なく達成することができる。

また、ボンディング側半導体層は、前述の通り、厚さが $0.6\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $10\text{ }\mu\text{m}$ 未満の第二導電型クラッド層を有するものとしても構成できる。そして、該第二導電型クラッド層をリン含有化合物半導体層として構成する場合、該第二導電型クラッド層と接する形でリンブロック層が配置することができる。第二導電型クラッド層を上記のように十分厚く構成することにより、電極ワイヤを接合時に生ずる損傷領域の影響を活性層に及びにくくすることができる。そして、該第二導電型クラッド層と電極接合層との間にリンブロック層を介在させることにより、ITO電極層へのリン拡散抑制効果も同時に達成される。

この場合も、リンブロック層は、第二導電型クラッド層よりもバンドギャップエネルギーが小さく、電極接合層よりはバンドギャップエネルギーが大きい中間層としておけば、素子の直列抵抗を軽減できる。具体的には、第二導電型クラッド層がAlGaInPよりなり、中間層がAlGaAsよりなる構成を例示できる。

20 (第三発明)

上記の課題を解決するために、第三発明の発光素子は、

化合物半導体層からなる発光層部と、該発光層部に発光駆動電圧を印加するための酸化物透明電極層とを有し、発光層部からの光を、酸化物透明電極層を透過させる形で取り出すようにした発光素子において、

25 発光層部と酸化物透明電極層との間に、酸化物透明電極層の接合抵抗を減ずるための電極接合層が、該酸化物透明電極層に接するように配置され、酸化物透明

電極層との接合界面において、電極接合層の形成領域と非形成領域とが混在するとともに、

- 5 電極接合層と発光層部との間に、Alを含有したAl含有介在層が電極接合層の形成領域と非形成領域とにまたがる形で配置され、該Al含有介在層は、電極接合層の形成領域において電極接合層と接するAl含有化合物半導体層と、電極接合層の非形成領域に選択的に形成された、少なくとも酸化物透明電極層側の最表層部をなすAl系絶縁層とを有することを特徴とする。

- 10 既に説明した通り、ITO等の酸化物透明電極層は、素子側の化合物半導体層と直接接合しようとしたとき、良好なオーミック接合が必ずしも形成されず、接触抵抗に基づく直列抵抗増大により発光効率が低下することがある。しかしながら、第三発明の発光素子は、酸化物透明電極層の接触抵抗を減ずるための電極接合層を、酸化物透明電極層の素子側に接するように配置することにより、酸化物透明電極層の接触抵抗を下げるができる。さらに、酸化物透明電極層との接合界面において、電極接合層の形成領域と非形成領域とを混在させることにより、電極接合層が、発光層部からの光を吸収しやすい性質を有している場合においても、電極接合層の形成領域直下にて発生した光は、これと隣接する非形成領域から漏出することにより、電極接合層による光吸収を抑制することができる。このように電極接合層を形成することにより、素子全体の光取出効率を高めることができる。

- 20 また、第三発明においては、電極接合層と発光層部との間に、Alを含有した化合物半導体よりなるAl含有介在層が、電極接合層の形成領域と非形成領域とにまたがる形で配置され、かつ、電極接合層の非形成領域において、該Al含有介在層の酸化物透明電極層側の最表層部にAl系絶縁層を選択的に形成した。これにより、電極接合層の非形成領域においては、酸化物透明電極層からの電流漏洩がAl系絶縁層により遮断され、電極接合層の形成領域に発光駆動電流を集中できるから、
25 電極接合層の形成形態に応じて発光層部面内の所望の領域に電流を効果的に分配でき、発光効率や光取出し効率の向上に寄与できる。そして、このAl系絶縁層は、

Al含有介在層の表層酸化により形成も極めて容易である。特に、電極接合層の形成領域を化学エッチングによりパターンニングする際に、Al含有介在層層上に重ねて形成した電極接合層を、下地となるAl含有介在層層を残して選択的に化学エッチングする際、Al含有介在層層の少なくとも最表層部をエッチング液との接触により酸化させる。すると、電極接合層のパターンニング工程にてAl系絶縁層を同時に形成できるので、効率的である。

5
10
15
なお、Al含有介在層において、電極接合層の形成領域において電極接合層と接するAl含有化合物半導体層は、電極接合層の非形成領域にまたがる形で形成されていてもよい。この場合、電極接合層の非形成領域においては、Al含有介在層の最表層部のみがAl系絶縁層となり、残部がAl含有化合物半導体層となる。この構成は、電極接合層の非形成領域において、Al含有化合物半導体層の表層部のみを酸化した場合に得られる。他方、電極接合層の非形成領域においてAl含有介在層の全体がAl系絶縁層となってもよい。この構成は、電極接合層の非形成領域において、Al含有化合物半導体層の全体を酸化した場合に得られ、特にAl含有化合物半導体層が薄い場合は該構造となりやすい。

20
電極接合層は化合物半導体又は金属にて構成できる。特に化合物半導体により構成することが、光吸収抑制の観点にて望ましい。しかしごく薄いものであれば、金属により構成することも可能である。また、後述のごとく、光取出領域の全面を電極接合層にて覆わないのであれば、電極接合層の非形成領域において光取出が可能となる。この場合、遮光性の高い金属にて電極接合層を構成することもできる。金属よりなる電極接合層は導電率が高いので、発光素子の直列抵抗低減の観点において有利である。

25
発光層部は、AlGaInPにより、第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有するものとして構成できる。これにより高輝度の発光素子を実現できる。

酸化物透明電極層の接合界面は、ボンディングパッドの直下領域からなる第一領

域と残余の第二領域とを有し、第一領域は、電極接合層の非形成領域の形成面積率を第二領域よりも大きくすることができる。上記の構成によると、光取り出し量が少ないボンディングパッドの直下領域（第一領域）において、光取り出し量が多い残余の領域（第二領域）よりも、電極接合層の非形成領域の形成面積率が大きくされ、

5 しかも該非形成領域にAl系絶縁層が形成されていることから、第一領域における酸化物透明電極層の接触抵抗が第二領域よりも大幅に高くなる。その結果、発光素子の駆動電流は、第一領域を迂回して第二領域に流れる成分が大きくなり、光取出効率を顕著に高めることができる。

なお、光取り出し量が少ない第一領域にはなるべく発光駆動電流が流れないことが、光取出効率向上の観点においては望ましい。従って、第一領域には電極接合層が可及的に形成されていないこと、具体的には、第一領域の全体が電極接合層の非形成領域とされ、該非形成領域の全域においてAl系絶縁層が形成されていることが望ましい。また、電極接合層による光吸収を抑制して光取出し効率を高めるためには、酸化物透明電極層との接合界面のうち、発光層部からの光を外部へ取り出す量が多い第二領域（つまり、光取出領域）において少なくとも、電極接合層の形成領域と非形成領域とが混在してなることが望ましい。この場合も、上記電極接合層の非形成領域の全域においてAl系絶縁層が形成されていることが、発光駆動電流を第二領域の面内に均一に分配し、発光効率を高める上で望ましい。なお、前述の通り、光取出領域である第二領域に電極接合層の形成領域と非形成領域とを

10

15

20

混在させる場合、該第二領域においては、電極接合層を化合物半導体又は金属のいずれで形成してもよい。

酸化物透明電極層は、第一発明及び第二発明と同様のものを使用でき、例えばITOにて構成できる。

酸化物透明電極層がITO電極層である場合、リンを含有しない化合物半導体より電極接合層を形成し、Al含有介在層の酸化物透明電極層が位置しているのと反対側にリン含有化合物半導体層を接して配置し、Al含有介在層を、電極接合層よりも

25

バンドギャップエネルギーが大きく、かつリンの含有率がリン含有化合物半導体層よりも低いリンブロック層とすることが好ましい。

本発明者らが検討したところによると、酸化物透明電極層がITO電極層として形成されている場合、ITO電極層の下側に位置する半導体層のうち、ITO電極層の近くに形成されている化合物半導体がリンを含む化合物半導体、特に、リンをV族元素の主体とするIII-V族化合物半導体である場合に、形成したITO電極層と半導体層との密着力が低下しやすいことが判明した。

リンを含有しない化合物半導体にて電極接合層を構成する場合、電極接合層は発光波長に対応するエネルギーよりもバンドギャップエネルギーが小さく設定されるため、発光層部からの光吸収を避けるため、3～30nm程度の小さな膜厚で形成される。この場合、半導体層のうち電極接合層と接している部分が、GaPなどのリン含有化合物半導体にて構成されていると、ITO電極層の成膜中の熱履歴や、その後、必要に応じて行われる熱処理の影響により、上記リン含有化合物半導体からP成分が、薄い電極接合層を通過してITO層側に拡散し、これが原因となってITO電極層の密着力が低下する。

そこで、電極接合層と発光層部との間に形成されるAl含有介在層を上記のようなリンブロック層としておけば、以下の効果が達成される。リンブロック層は、電極接合層よりもバンドギャップエネルギーが大きいため、発光層部からの発光光束に対する吸収は電極接合層より小さい。そして、電極接合層と反対側に位置するリン含有化合物半導体層よりもリンの含有率を低く設定してあるので、ITO電極層側に向けたリン拡散は生じにくい。従って、このようなリンブロック層を介挿することにより、リン含有化合物半導体層からのリン成分は、リンブロック層と電極接合層との双方を通過しなければ、ITO電極層に到達することができなくなる。その結果、ITO電極層へのリン拡散が大幅に抑制され、ITO電極層の密着強度を向上させることができる。

リンブロック層は、第一発明及び第二発明と同様、リンを含有しない化合物半導

体により構成することが、ITO電極層へのリン拡散抑制効果を高める上でより望ましい。また、リンブロック層は、具体的にはAlGaAsにて構成することが望ましい。AlGaAsよりなるリンブロック層のバンドギャップエネルギーは、最低でも0.1eV以上は大きくすることが望ましい。さらに、AlGaAsよりなるリンブロック層のAlAs混晶比bは、0.85以下の範囲で調整することが望ましい。

電極接合層は、具体的には、Alを含有せず、かつバンドギャップエネルギーが比較的小さい(例えば1.42eV未満)化合物半導体からなるものを好適に採用することができる。このような電極接合層を用いることにより、良好なオーミックコンタクトが得られ、また、Al成分酸化による抵抗増加も生じにくい。

- 10 電極接合層は、バンドギャップエネルギーが発光波長に対応するエネルギーよりも小さく設定されていると、発光層部からの光を吸収する作用を有するので、光取出し効率向上のため、その厚さをなるべく小さくすることが望ましく、例えば3nm以上30nm以下に設定することが望ましい。厚さが30nmを超えると光吸収の影響が大きくなり、3nm未満では、電極接合層をなす化合物半導体のバルクとしての結晶構造を維持が困難となり、接合抵抗低減効果が十分に得られなくなる。また、ITO層へのリン拡散抑制効果を顕著なものとするためには、リンブロック層(Al系介在物層)と電極接合層との合計厚さを20nm以上に調整することが望ましい。該合計厚さが20nm未満では、リン拡散抑制効果が顕著でなくなるので望ましくない。

- 20 酸化物透明電極層がITO電極層の場合、電極接合層は、例えばInGaAs層やGaAs層を使用することができる。該電極接合層は、(少なくとも)ITO電極層との接合界面において、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) となっていることにより、接触抵抗低減効果を特に高めることができる。 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ (ただし、 $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) により発光層を形成する場合、GaAs層をITO電極層と接するように形成し、その後、熱処理を行なうことにより、ITO電極層からGaAs層にInを拡散させて、Inを含有したGaAsよりなる電極接合層となすことができる。

第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層さ

れたダブルヘテロ構造を有する化合物半導体により発光層部が形成された構成において、前述のボンディングパッドに通電用の電極ワイヤを接合する場合、活性層と電極接合層との間に位置する第二導電型クラッド層を含む化合物半導体層をボンディング側半導体層として、該ボンディング側化合物半導体層の厚さを $0.6\ \mu\text{m}$ 以上 $10\ \mu\text{m}$ 未満とすることが望ましい。例えばワイヤの接合を、超音波溶接や、これにさらに熱を付加するサーモソニックボンディングにより行なう場合、ボンディングパッド直下の化合物半導体層には、超音波や加熱(さらには加圧)による衝撃応力が集中し、転位などの結晶欠陥が損傷として導入される。その損傷領域が活性層部に及んだ場合、具体的には次のような不具合を招く。

- 10 ①発光輝度の直接的な低下。結晶欠陥による非発光遷移過程の増加が原因として考えられる。

②素子ライフの低下。転位の形成された発光層に通電を継続すると、転位に電流が集中して転位の増殖が起こりやすくなり、発光輝度の経時的な劣化を引き起こす。

- 15 しかしながら、ボンディング側化合物半導体層の厚さを上記のごとく確保することで、ボンディングパッドに電極ワイヤを接合する際の損傷領域が仮に生じても、該損傷領域の影響はボンディング側半導体層に留まり、活性層にその影響が及びにくくなる。ただし、ボンディング側半導体層を過度に厚く形成することは、発光素子の製造能率低下につながるので、該厚さの上限は $10\ \mu\text{m}$ とする。

- 20 上記のようなボンディング側半導体層は、少なくとも電極接合層との境界を含む第一層と、該第一層と活性層との間に位置する第二層とを有するものとして構成でき、第二層の少なくとも第一層との境界を含む領域を、リンを含有したリン含有化合物半導体層とし、他方、第一層をリンブロック層とすることができる。これにより、リン含有化合物半導体層からITO電極層へのリン拡散が大幅に抑制され、ボンディング側半導体層に対するITO電極層の密着強度を向上させることができる。

- 25 リンブロック層は、ボンディング側半導体層の構成に応じて種々の形態に形成できる。例えば、ボンディング側半導体層は、第二導電型クラッド層と、該第二導電型

クラッド層の酸化物透明電極層側に接して配置され、第二導電型クラッド層とは異なる組成の化合物半導体によりリン含有化合物半導体層として構成されたクッション層と、該クッション層と電極接合層との間に配置されたリンブロック層とからなるものとして構成できる。クッション層の介在により、電極ワイヤを接合時に生ずる損傷領域の影響が活性層に及びにくくすることができる。また、このクッション層がリン含有化合物半導体層として構成されているにもかかわらず、リンブロック層の介在によりITO電極層へのリン拡散が大幅に抑制され、ITO電極層の密着強度を高めることができる。この場合、該クッション層は、例えば可視光に対する透明性が高いGaPにて構成すると、光取出し効率を高めることができる。

- 10 この場合、ボンディング側半導体層の電極接合層との境界を含む部分を、該部分に対し電極接合層の反対側から接するボンディング側半導体層部分よりもバンドギャップエネルギーが小さく、電極接合層よりはバンドギャップエネルギーが大きい中間層とすることができる。ボンディング側半導体層と電極接合層とのバンド端不連続値が大きい場合は、図17に示すように、接合によるバンドの曲がりにより、形成されるヘテロ障壁の高さ ΔE が大きくなり、コンタクト抵抗の増大につながる。そこで、図18に示すように、上記のような中間層を挿入すると、電極接合層と中間層、及び中間層とこれに接するボンディング側半導体層部分とのそれぞれはバンド端不連続値が小さくなるので、各々形成される障壁高さ ΔE も小さくなる。その結果、直列抵抗が軽減されて、低い駆動電圧にて十分に高い発光強度を達成することが可能となる。なお、本明細書において電極接合層はボンディング側半導体層に属せず、中間層はボンディング側半導体層に属するものとして定義する。
- 15
- 20

そして、該中間層をリンブロック層としても機能するものとして構成しておけば、リン含有化合物半導体層となっているボンディング側半導体層部分からの、ITO電極層へのリン拡散抑制効果も同時に達成される。特に、発光層部がAlGaInPにて構成される場合、既に例示した中間層の材質のうち、リンブロック層としても好適なものはAlGaAsである。

25

また、ボンディング側半導体層は、第二導電型クラッド層と、該第二導電型クラッド層の酸化物透明電極層側に接して配置され、第二導電型クラッド層とは異なる組成の化合物半導体によりリンブロック層として構成されたクッション層とからなるものとしても構成できる。この場合、該クッション層に電極接合層が接して配置される。

- 5 この場合もクッション層の介在により、電極ワイヤを接合時に生ずる損傷領域の影響を活性層に及びにくくすることができる。そして、該構成では、クッション層自体をリンブロック層として構成することで、ITO電極層へのリン拡散抑制効果も同時に達成される。このようなクッション層は、具体的にはAlGaAsにて構成することができる。
- 10 クッション層は、第二導電型クラッド層よりも低いドーパント濃度の化合物半導体とすることが好ましい。クッション層がこれと接する第二導電型クラッド層よりも低いドーパント濃度を有していると、クッション層から第二導電型クラッド層内へのドーパント原子の流入が抑制され、素子ライフの大幅な向上を図ることができる。また、成長時にドーパントが第二導電型クラッド層に逆拡散する不具合も生じにくい。
- 15 クッション層は、発光層部からの光をなるべく吸収しない材質にて構成することが、光取出し効率を向上させる上で望ましい。そのためには、クッション層をなす化合物半導体として、発光層部の活性層よりもバンドギャップの大きいものを使用することが有効である。AlGaInPにて発光層部を構成する場合、クッション層の具体的な材質として、AlGaAs、GaP、GaAsP、AlGaAsPを例示できる。また、クッション層
- 20 を薄く形成すると、光吸収抑制の観点において有利に作用する。クッション層の厚さは、具体的には0.1 μm 以上5 μm 以下に調整することが望ましい。クッション層の厚さが0.1 μm 未満では、ボンディング側半導体層の全厚が不足しやすくなり、電極ワイヤ接合時の影響が発光層部へ及びやすくなる。また、クッション層の厚さが5 μm を超えると、ドーパント濃度が低く抑えられている場合に層厚方向の抵抗
- 25 率が増し、素子の直列抵抗増大による発光効率低下につながる。また、厚いクッション層を成長させるには長時間を要し、原料も多く必要になることから、製造能率の

低下とコストの増大を招きやすい。クッション層の厚さは $0.5\ \mu\text{m}$ 以上 $3\ \mu\text{m}$ 以下とすることがより望ましい。

5 なお、クッション層は、第二導電型クラッド層よりも高いドーパント濃度の化合物半導体層、例えば電流拡散層とすることも可能である(ただし、第三発明の第二の構成のみ)。この場合、素子ライフの向上効果については期待できないが、ITO電極層へのリン拡散抑制効果は問題なく達成することができる。

10 また、ボンディング側半導体層は、厚さが $0.6\ \mu\text{m}$ 以上 $10\ \mu\text{m}$ 未満の第二導電型クラッド層を有するものとしても構成できる。そして、該第二導電型クラッド層をリン含有化合物半導体層として構成する場合、該第二導電型クラッド層と接する形でリンブロック層を配置することができる。第二導電型クラッド層を上記のように十分厚く構成することにより、電極ワイヤを接合時に生ずる損傷領域の影響を活性層に及びにくくすることができる。そして、該第二導電型クラッド層と電極接合層との間にリンブロック層を介在させることにより、ITO電極層へのリン拡散抑制効果も同時に達成される。

15 この場合も、リンブロック層は、第二導電型クラッド層よりもバンドギャップエネルギーが小さく、電極接合層よりはバンドギャップエネルギーが大きい中間層としておけば、素子の直列抵抗を軽減できる。具体的には、第二導電型クラッド層が AlGaInP よりなり、中間層が AlGaAs よりなる構成を例示できる。

20 なお、前述のごとくAl含有介在層が薄いとき、電極接合層の非形成領域において、Al含有介在層の全体がAl系絶縁層(例えばAl酸化層)となることがあるが、該Al酸化層は、厚さが $0.1\ \mu\text{m}$ ないしそれ以上確保されていれば、リンブロック層として十分機能しうる。

25 次に、第三発明の発光素子の製造方法は、発光層部を有した化合物半導体層の少なくとも一方の主表面に、Al系絶縁層が主表面の一部領域をなす形で選択的に形成された発光素子の製造方法であって、

化合物半導体層を成長する際に、その表層部にAl含有化合物半導体層と、Al非

含有化合物半導体層とを、Al非含有化合物半導体層が最表面側に配置されるように成長する化合物半導体層成長工程と、

Al非含有化合物半導体層の一部領域を、Al含有化合物半導体層をエッチストップ層として化学エッチングすることにより除去してパターンニングするとともに、当該Al非含有化合物半導体層の除去領域に露出したAl含有化合物半導体層の少なくとも表層部を、化学エッチングのエッチング液と反応させてAl系絶縁層となす選択エッチング工程と、を含むことを特徴とする。

上記の方法によると、化合物半導体層の表層部にAl含有化合物半導体層とAl非含有化合物半導体層とを積層形成し、Al含有化合物半導体層をエッチストップ層としてAl非含有化合物半導体層を選択エッチングすることにより、Al含有介在層層の少なくとも最表層部をエッチング液との接触により酸化する形でAl系絶縁層を形成できる。すなわち、Al含有化合物半導体層のパターンニング工程にてAl系絶縁層を同時に形成できるので効率的である。例えば、Al含有化合物半導体層がAlGaAsであり、Al非含有化合物半導体層がGaAsである場合、アンモニア／過酸化水素混合溶液よりなるエッチング液が、AlGaAsに対するGaAsの選択エッチング性に優れ、かつAl酸化物よりなるAl系絶縁層を確実に形成できるので、第三発明に好適である。

図面の簡単な説明

図1は、本発明の発光素子の一実施形態を積層構造にて示す模式図。

図2Aは、図1の発光素子の製造工程の一例を示す説明図。

図2Bは、図2Aに続く説明図。

図2Cは、図2Bに続く説明図。

図2Dは、図2Cに続く説明図。

図3Aは、図2Dに続く説明図。

図3Bは、図3Aに続く説明図。

図3Cは、図3Bに続く説明図。

図3Dは、図3Cに続く説明図。

図3Eは、図3Dに続く説明図。

図4は、クッション層の第一の作用説明図。

5 図5は、クッション層を有さない発光素子における問題点を説明する図。

図6は、クッション層の第二の作用説明図。

図7Aは、電極接合層の形成パターンの第一例を示す図。

図7Bは、電極接合層の形成パターンの第二例を示す図。

図7Cは、電極接合層の形成パターンの第三例を示す図。

10 図8は、中間層を形成しない場合の、電極接合層のバンド構造の例を示す模式図。

図9は、中間層を形成する場合の、電極接合層のバンド構造の例を示す模式図。

図10は、リンブロック層の第一の構成例を示す模式図。

図11は、リンブロック層の第二の構成例を示す模式図。

図12は、本発明の発光素子の一実施形態を積層構造にて示す模式図。

15 図13は、クッション層の第二の作用説明図。

図14は、本発明の発光素子の別実施形態を積層構造にて示す模式図。

図15は、電極接合層内のIn濃度分布の一例を模式的に示す図。

図16は、電極接合層内のIn濃度分布の別例を模式的に示す図。

20 図17は、中間層を形成しない場合の、電極接合層のバンド構造の例を示す模式図。

図18は、中間層を形成する場合の、電極接合層のバンド構造の例を示す模式図。

図19は、リンブロック層の第一の構成例を示す模式図。

図20は、リンブロック層の第二の構成例を示す模式図。

図21は、リンブロック層の第三の構成例を示す模式図。

25 図22は、リンブロック層の第四の構成例を示す模式図。

図23は、リンブロック層の第五の構成例を示す模式図。

図24は、本発明の発光素子の一実施形態を積層構造にて示す模式図。

図25は、図24の発光素子におけるAl系絶縁層の概念図。

図26Aは、図24の発光素子の製造工程の一例を示す説明図。

図26Bは、図26Aに続く説明図。

5 図26Cは、図26Bに続く説明図。

図26Dは、図26Cに続く説明図。

図27は、本発明の発光素子の第一変形例を積層構造にて示す模式図。

図28は、図27の発光素子におけるAl系絶縁層の概念図。

図29は、本発明の発光素子の第二変形例を積層構造にて示す模式図。

10 図30は、本発明の発光素子の第三変形例を積層構造にて示す模式図。

図31は、本発明の発光素子の第四変形例を積層構造にて示す模式図。

発明の詳細な説明

(第一発明)

、 15 図1は、第一発明の一実施形態である発光素子100を示す概念図である。発光素子100は、n型GaAs単結晶基板(以下、単に「基板」ともいう)7の一方の主表面上に、n型GaAsバッファ層2を介してAlGaInPよりなる発光層部24を形成し、該発光層部24を覆うように、p型のクッション層20と、ITOよりなる酸化物透明電極層30とをこの順序で形成したものである。さらに、酸化物透明電極層30のほぼ

20 中央部には、Au等にて構成されたボンディングパッド9が配置され、ここにAu等で構成された電極ワイヤ47が接合されている。他方、基板7の他方の主表面側には、Au-Ge-Ni合金等の金属からなる裏面電極層15が全面に形成されている。

発光層部24は、各々 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ 混晶とされとともに、第一導電型クラッド層4、第二導電型クラッド層6、及び第一導電型クラッド層4と第二導電型クラッド層6との間に位置する活性層5からなるダブルヘテロ構造とされている。具体的には、ノンドープ $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ (ただし、 $0 \leq x \leq 0.55$, $0.45 \leq y \leq 0.55$)

25

混晶からなる活性層5を、p型 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ クラッド層6とn型 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ クラッド層4とにより挟んだ構造となっている。図1の発光素子100では、クッション層20側にp型AlGaInPクラッド層6(p型ドーパントはZn:有機金属分子からのCもp型ドーパントとして寄与しうる)が配置されており、裏面電極層15側にn型AlGaInPクラッド層4(n型ドーパントはSi)が配置されている。なお、当業者には自明のことであるが、ここでいう「ノンドープ」とは、「ドーパントの積極添加を行なわない」との意味であり、通常の製造工程上、不可避免的に混入するドーパント成分の含有(例えば $10^{13} \sim 10^{16} / \text{cm}^3$ 程度を上限とする)をも排除するものではない。

p型AlGaInPクラッド層6は、p型キャリア濃度(多数キャリア濃度)は、 $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 未満、望ましくは、 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上 $7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下である。また、クッション層20は、本実施形態ではZnをドーパントとして添加したAlGaAs層よりなり、p型キャリア濃度は、 $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $9 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下、望ましくは $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上 $6 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下の範囲内で、p型AlGaInPクラッド層6よりも小さく設定されている。該クッション層20の厚さは0.1 μm 以上5 μm 以下、望ましくは0.5 μm 以上3 μm 以下である。さらに、p型AlGaInPクラッド層6とクッション層20との合計厚さは0.6 μm 以上(例えばクッション層:0.1 μm 、クラッド層:0.5 μm)10 μm 未満である。

以下、図1の発光素子100の製造方法について説明する。

まず、GaAs単結晶基板7に、n型GaAsバッファ層2を、次いで発光層部24として、n型AlGaInPクラッド層4、AlGaInP活性層5、及びp型AlGaInPクラッド層6(以上図1参照)、さらにAlGaAsよりなるクッション層20をこの順序にエピタキシャル成長させ、図2Aの状態とする。これら各層のエピタキシャル成長は、公知の有機金属気相エピタキシャル成長(Metalorganic Vapor Phase Epitaxy: MOVPE)法により行なうことができる。Al、Ga、In、P及びAsの各成分源となる原料ガスとしては以下のようなものを使用できる；

・Al源ガス；トリメチルアルミニウム(TMAI)、トリエチルアルミニウム(TEAI)など；

- ・Ga源ガス：トリメチルガリウム(TMGa)、トリエチルガリウム(TEGa)など；
- ・In源ガス：トリメチルインジウム(TMIn)、トリエチルインジウム(TEIn)など。
- ・P源ガス：ターシャルブチルホスフィン(TBP)、トリエチルリン(TEP)、ホスフィン(PH_3)など。

- 5 ・As源ガス：ターシャルブチルアルシン(TBA)、アルシン(AsH_3)など。

また、ドーパントガスとしては、以下のようなものを使用できる；

(p型ドーパント)

- ・Mg源：ビスシクロペンタジエニルマグネシウム(Cp_2Mg)など。
- ・Zn源：ジメチル亜鉛(DMZn)、ジエチル亜鉛(DEZn)など。

- 10 (n型ドーパント)

- ・Si源：モノシランなどのシリコン水素化物など。

上記各層の成長は、原料ガスの切り替えにより、同一の気相成長装置内で連続的に行なうことができる。また、各層のドーパント濃度は、原料ガスに対するドーパントガスの供給比率により、所望の値に調整することができる。

- 15 次に、図2Bに示すように、クッション層20を覆うように、公知の高周波スパッタリング法により、ITOよりなる酸化物透明電極層30を形成する。また、図2Cに示すように、基板7の第二主表面に真空蒸着法により裏面電極層15を形成する。そして、図2Dに示すように、酸化物透明電極層30上に、各発光素子チップに対応する領域毎にボンディングパッド9を配置し、適当な温度で電極定着用のベーキングを施すことにより、発光素子ウェーハ50が得られる。該発光素子ウェーハ50は、各発光素子チップ領域を分離するために図3Aに示すようにハーフダイシングされ、さらに図3Bに示すようにダイシング面の加工歪をメサエッチングにより除去した後、図3Cに示すスクライビングにより発光素子チップ51に分離される。そして、図3Dに示すように、裏面電極層15(図1参照)をAgペースト等の導電性ペーストを用いて
- 20 支持体を兼ねた端子電極9aに固着する一方、ボンディングパッド9に電極ワイヤ47を接合(ボンディング)し、図3Eに示すように樹脂モールド52を形成することによ
- 25

り発光素子100が得られる。

各々Auよりなるボンディングパッド9に電極ワイヤ47を接合する場合、例えば超音波溶接(あるいはサーモソニックボンディング)が用いられる。この超音波溶接の衝撃応力は、酸化物透明電極層30を経てボンディングパッド9の直下の化合物半導体層に及び、結晶欠陥等の損傷領域DMを形成する。例えば、図5に示すように、酸化物透明電極層30の直下に発光層部24が形成されていると、その損傷領域DMが発光層部24に及び、発光輝度や素子ライフの低下など、特性不良につながる。しかし、第一発明の発光素子においては、図4に示すように、クッション層20が介在しているため、損傷領域DMがクッション層20内に留まり、その影響が発光層部24に及びにくいので、その分、発光輝度が損なわれる心配がない。

また、このクッション層20は、p型キャリア濃度が $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $9 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下の範囲内で、p型AlGaInPクラッド層6よりも小さく設定されている。このため、発光通電を継続したときに、クッション層20からp型AlGaInPクラッド層6へのp型ドーパントの拡散の、電氣的促進が生じにくくなり、素子ライフが向上する。

また、図6に示すように、クッション層20は、ドーパント濃度が低いのでシート抵抗は多少大きい、その上に導電率が非常に大きい酸化物透明電極層30が形成されているので、該酸化物透明電極層30内にて電流を十分に拡げることができる。そして、クッション層20は、p型キャリア濃度を前述の範囲に調整することで、層厚方向の導電性は十分に確保されているから、結果として発光層部への均一な通電が可能となり、発光効率を高めることができる。

なお、図1に一点鎖線にて示すように、酸化物透明電極層30とクッション層20の間には、酸化物透明電極層30と接する形で、InGaAsやGaAs等よりなる電極接合層31を形成しておくことが、酸化物透明電極層30の接触抵抗を低減する上で望ましい。該電極接合層31は、これと接するクッション層20がAlGaAsにて構成されることも考慮し、接触抵抗を低減するために、p型ドーパント濃度が高く(例えば $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 程度)設定されている。

また、ボンディングパッド9は発光層部24からの光の大部分を遮蔽するため、発光層部24においてボンディングパッド9の直下領域、つまり光取り出し量が少ない第一領域に通電電流が集中しないこと、むしろ、ボンディングパッド9の周囲の光取り出し量が多い第二領域に通電電流がなるべく多く分配されることが、光取出効率を高める上で望ましい。そこで、図1の実施形態では、電極接合層31は、ボンディングパッド9の直下領域をなす光取り出し量が少ない第一領域には形成されず、その周囲の光取り出し量が多い第二領域にのみ選択的に形成されている。ボンディングパッド9の直下領域において電極接合層31を作為的に非形成とすることで、この領域では酸化物透明電極層30の接触抵抗が高くなり電流が流れにくくなる。その結果、酸化物透明電極層30を介して発光層部24に通電される電流は、光取り出し量が少ない第一領域を迂回して光取り出し量が多い第二領域に優先的に分配され、光取出効率を高めることができる。

なお、図7A～7Cに示すように、第二領域に形成する電極接合層31は、形成領域と非形成領域とを混在させることができる。また、光取り出し量が多い第二領域において電極接合層31の形成領域と非形成領域とを混在させることにより、発光層部24で生じた光は電極接合層31を透過する経路と、非形成領域において電極接合層31を迂回する経路との2通りの経路にて取り出される。このうち、後者においては、電極接合層31を透過する際の光吸収を生じないので、光取出効率を向上させることができる。

図7A～7Cに示すように、電極接合層31の形成領域は、酸化物透明電極層30の接合界面において分散形成することにより、発光層部24における発光をより均一化し、かつ電極接合層31の非形成領域からより均一に光を取り出すことができる。図7Aは電極接合層31の形成領域を散点状とした例であり、図7Bは細長い帯状の電極接合層31の形成領域と非形成領域とを交互に形成した例である。さらに、図7Cは、図7Aとは逆に、電極接合層31の形成領域を背景として、散点状の非形成領域をこれに分散形成した例である。ここでは電極接合層31の形成領域を格子

状に形成している。

次に、図1の発光素子においては、クッション層20をAlGaAsにて構成していたが、これをGaPにて構成することもできる(ドーパント濃度の範囲は、AlGaAsにて構成したクッション層20と同じである:また、他の層は図1の発光素子と同様に構成する)。この場合、ITO電極層30の成膜時や、電極接合層31を形成するための熱処理時に、GaPよりなるクッション層20から、電極接合層31を経てITO電極層30にリンが拡散し、ITO電極層30の電極接合層31への密着強度が低下する可能性がある。この場合、特に、図2Dの工程に示すボンディングパッド9のフォトリソグラフィによるパターニング処理や、図3Aの工程のハーフダイシング、さらには図3Bの工程のメサエッチング時に、ITO電極層30が剥離しやすくなり、不良や歩留まり低下を招きやすくなる。

そこで、図10に示すように、GaPよりなるクッション層20と電極接合層31との間に、例えばAlGaAsよりなるリンブロック層32を介挿しておくことで、クッション層20からITO電極層30へのリンの拡散を効果的に抑制することができ、また、AlGaInPよりなる発光層部からの発光光束の吸収も生じにくい。この場合、リンブロック層32はAlGaAsにて構成されることで、前述の中間層(図9参照)としての機能も果たす。なお、リンブロック層32と電極接合層31との合計厚さは、20nm以上とすることが望ましい。

なお、図11に示すように、クッション層20がAlGaAsよりなる場合(すなわち、図1の構成である)は、AlGaAsよりなるクッション層20自体がリンブロック層として機能し、クッション層20からITO電極層30へのリンの拡散がそもそも生じず(当然、クッション層20は比較的厚いので、AlGaInPよりなるクラッド層6からのリン拡散も生じにくい)、また、クッション層20とは別にリンブロック層を設ける必要もないから、工程も簡略化できる。

以上の実施形態では、発光層部24の各層をAlGaInP混晶にて形成していたが、該各層(p型クラッド層6、活性層5及びn型クラッド層4)をAlGaInN混晶により形

成することもできる。この場合、発光層部24を成長させるための発光層成長用基板は、GaAs単結晶基板に代えて、例えばSiC基板が使用される。

(実施例)

以下、第一発明の効果を確認するために行なった実験結果について説明する。

5 まず、各層を以下の厚さにてMOVPE法により形成した発光素子ウェーハ50を用意した。

・ITO電極層30＝厚さ：0.8 μm (酸化錫含有率＝7質量% (残部は酸化インジウム)、高周波スパッタリングにて形成；

・InGaAs電極接合層31

10 厚さ：5nm (ただし、ボンディングパッド直下領域のみ形成せず)、p型ドーパントとしてのZnを、ドーパント濃度が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 程度となるように拡散してある；

・AlGaAsクッション層20

Zn (p型ドーパント) 濃度： $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$

厚さ：0 μm 、0.1 μm 、0.5 μm 、1.5 μm 、3 μm 、5 μm 、10 μm ；

15 ・p型AlGaInPクラッド層6

Zn (p型ドーパント) 濃度： $3 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$

厚さ：0.5 μm ；

・AlGaInP活性層5

ノンドープ、厚さ：0.6 μm (発光波長650nm)；

20 ・n型AlGaInPクラッド層4

Si (n型ドーパント) 濃度： $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 、厚さ：1 μm 。

上記発光素子ウェーハ50は、図2A～図3Eにて説明済みの工程により素子化した。なお、素子チップの大きさは300 μm 四方の正形状である。また、ボンディングパッド9はAu製であり、寸法は直径100 μm の円状である。このボンディングパ
25 ッド9にAu製電極ワイヤを、周知のサーモソニックボンディング装置によりボンディングした。

得られた各素子は、以下の各特性を周知の方法にて測定した：

- ・発光輝度 (I_v : 通電電流値を20mAとした)；
- ・順方向電圧 (V_F : 通電電流値を20mAとした)。

また、通電電流を30mAに固定して100時間連続通電したときの、初期発光輝
5 度と100時間通電後の発光輝度とを測定し、両者の比(%)を素子ライフとして求めた。

表1は、p型クラッド層6の厚さを0.5 μm 、クッション層20の厚さを1 μm とし、
両者のZn(p型ドーパント)濃度を種々の組合せに設定して、それぞれ素子ライフを
測定した結果を示すものである。

表 1

クラッド層ドーパント濃度: $3 \times 10^{17} / \text{cm}^3$

クッション層ドーパント濃度($/\text{cm}^3$)	素子ライフ(%)
1×10^{17}	100
2×10^{17}	100
* 7×10^{18}	90

クラッド層ドーパント濃度: $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$

クッション層ドーパント濃度($/\text{cm}^3$)	素子ライフ(%)
1×10^{17}	100
3×10^{17}	100
* 1×10^{18}	80

クラッド層ドーパント濃度: $7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$

クッション層ドーパント濃度($/\text{cm}^3$)	素子ライフ(%)
3×10^{17}	90
5×10^{17}	90
* 1×10^{18}	70

*は第一発明の範囲外であることを示す。

この結果によると、クッション層20のZn(p型ドーパント)濃度をp型クラッド層6よりも小さく設定することにより、逆に設定した場合よりも素子ライフが相対的に向上していることがわかる。

また、表2は、p型クラッド層6のZn(p型ドーパント)濃度を $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 、厚さを $0.5 \mu\text{m}$ に設定する一方、クッション層20のZn(p型ドーパント)濃度を $3 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ に設定し、厚さを $0 \sim 10 \mu\text{m}$ の種々の値に設定したときの、発光輝度 I_v 、

順方向電圧 V_F 及び素子ライフの測定結果を示すものである。

表2

クッション層厚さ(μm)	0	0.1	0.5	1.5	3	5	10
I_V (mCd)	62	73	83	74	77	80	81
V_F (V)	1.89	1.88	1.91	1.90	1.95	1.98	2.1
素子ライフ(%)	30	80	100	100	100	100	100

- 5 クッション層20の厚さを0.1 μm ～5 μm の範囲で調整したものは、発光輝度 I_V が高く順方向電圧 V_F も小さい。しかし、クッション層20の厚さが0.1 μm より小さくなると、ボンディングパッド9へ電極ワイヤ47を接合したときの損傷が発光層部24

に及び、発光輝度 I_v 及び素子ライフの低下を招いていることがわかる。また、クッション層20の厚さが $5\mu\text{m}$ より大きくなると、直列抵抗増大により順方向電圧 V_F が上昇していることがわかる。

(第二発明)

- 5 図12は、第二発明の一実施形態である発光素子200を示す概念図である。発光素子200は、 n 型GaAs単結晶基板(以下、単に「基板」ともいう)7の一方の主表面上に、 n 型GaAsバッファ層2を介してAlGaInPよりなる発光層部24を形成し、該発光層部24を覆うように、 p 型のクッション層20と、酸化物透明電極層としてのITO電極層30とをこの順序で形成したものである。さらに、ITO電極層30のほぼ中央部には、Au等にて構成されたボンディングパッド9が配置され、ここにAu等で構成された電極ワイヤ47が接合されている。他方、基板7の他方の主表面側には、Au-Ge-Ni合金等の金属からなる裏面電極層15が全面に形成されている。
- 10

発光層部24及びクッション層20の構成は、図1に同じである。

以下、図12の発光素子200の製造方法について説明する。

- 15 発光層部24、クッション層20及びITO電極層30は、図2A～図3Eを用いて既に説明した方法と全く同様に形成される。なお、 p 型AlGaInPクラッド層6の p 型ドーパント濃度は、 $5 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 未満であり、ボンディング側半導体層60全体で見た場合、 $4 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 未満の範囲に収まっている。
- 20 また、図12に示すように、ITO電極層30とクッション層20との間には、ITO電極層30と接する形で電極接合層31を形成し、ITO電極層30との接触抵抗を低減する。該電極接合層31は、ITO電極層30との境界を含む部分が少なくともInGaAsとされた化合物半導体層であり、例えば次のようにして形成することができる。すなわち、図12のクッション層20上にGaAs層を形成して、さらにこれをITO電極層30
- 25 で覆い、その状態で炉の中に配置して、例えば窒素雰囲気中あるいはAr等の不活性ガス雰囲気中にて、 600°C 以上 750°C 以下(例えば 700°C)の低温で、5秒以

上120秒以下(例えば30秒)の短時間の熱処理を施す。これにより、ITO電極層30からGaAs層にInが拡散し、電極接合層31(図12)が得られる。該熱処理により電極接合層31は、図15①において、ITO電極層との境界近傍におけるIn濃度 C_A が、InとGaとの合計濃度に対するInの原子比にて、0.1以上0.6以下となる。また、In濃度は、ITO電極層30から厚さ方向に遠ざかるにつれ連続的に減少するものとなり、ITO電極層30との境界近傍におけるIn濃度を C_A とし、これと反対側の境界位置におけるIn濃度を C_B としたとき、 C_B/C_A が0.8以下となるように調整される。該電極接合層31は、これと接するボンディング側半導体層部分、すなわち、クッション層20がAlGaAsにて構成されることも考慮し、接触抵抗を低減するために、p型ドーパント濃度が高く(例えば $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 程度)設定されている。

図12の実施形態でも図1と同様、電極接合層31は、ボンディングパッド9の直下領域をなす光取り出し量が少ない第一領域には形成されず、その周囲の光取り出し量が多い第二領域にのみ選択的に形成されている。図13に示すように、ITO電極層30を介して発光層部24に通電される電流は、光取り出し量が多い第二領域に優先的に分配され、光取出効率を高めることができる。

この場合も、図7A~Cに示すように、第二領域に形成する電極接合層31は、形成領域と非形成領域とを混在させることができる。

特に、正方形換算にて一辺が $400 \mu\text{m}$ 以上の大面積の発光素子の場合、均一な面発光を可能とするため、ボンディングパッド9以外の領域の全面積に対して、電極接合層31の形成領域の面積比率を10%以上(100%含む)とすることが望ましい。また、ボンディングパッド9の被覆面積率が1%以上10%以下とすることが、光取出し効率を向上させる観点において望ましい。

また、図14に示すように、ボンディング側化合物半導体層60の、中間層32を除いた部分の全体を、p型AlGaInPクラッド層(第二導電型クラッド層)6として構成することも可能である。この場合、p型AlGaInPクラッド層6の厚さ t_1 を $0.6 \mu\text{m}$ 以上 $10 \mu\text{m}$ 未満とし、そのp型ドーパント濃度を $4 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$

未満に調整する。

この場合、n型AlGaInPクラッド層4は、電極ワイヤ47の接合による損傷の影響がほとんど及ばないため、その厚さ t_3 はp型AlGaInPクラッド層6の厚さ t_1 より小さく設定することができる。また、この態様においても、図12と同様に、ITO電極層30と接する電極接合層31を設ける。この場合、Inを含有したGaAsよりなる電極接合層31を、p型AlGaInPクラッド層6に直接接触させると両者の間に形成されるヘテロ障壁がやや高くなり、接触抵抗の増大を招くことがある。そこで、電極接合層31とp型AlGaInPクラッド層6との間には、AlGaAs層、GaInP層及びAlGaInP層(バンドギャップエネルギーがクラッド層より小さくなるように組成調整されたもの)等よりなる中間層32を形成することがより望ましい。

なお、図12の発光素子においても、クッション層20はAlGaAsに代えてGaPにて構成することができる。

図19に示すように、GaPよりなるクッション層20と電極接合層31との間に、例えばAlGaAsよりなるリンブロック層32を介挿しておくことができる。

なお、図20に示すように、クッション層20がAlGaAsよりなる場合(すなわち、図12の構成である)は、AlGaAsよりなるクッション層20自体がリンブロック層として機能し、クッション層20からITO電極層30へのリンの拡散がそもそも生じず(当然、クッション層20は比較的厚いので、AlGaInPよりなるクラッド層6からのリン拡散も生じにくい)、また、クッション層20とは別にリンブロック層を設ける必要もないから、工程も簡略化できる。

なお、図19及び図20においては、GaPないしAlGaAsよりなるクッション層20のドーパント濃度は、クラッド層6のドーパント濃度よりも低く設定されているが、図21及び図22に示すように、これらクッション層20の代わりに、クッション層20と同程度の厚さを有した、GaPないしAlGaAsよりなる電流拡散層21を設けることもできる(電流拡散層21は、クラッド層6よりもドーパント濃度が高く設定される)。

また、図23に示すごとく、ボンディング側化合物半導体層の、中間層32を除いた

部分の全体をクラッド層6として構成する場合(図14の構成である)、その中間層32をAlGaAsよりなるリンブロック層として構成することもできる。

5 以上の実施形態では、発光層部24の各層をAlGaInP混晶にて形成していたが、該各層(p型クラッド層6、活性層5及びn型クラッド層4)をAlGaInN混晶により形成することもできる。この場合、発光層部24を成長させるための発光層成長用基板7は、GaAs単結晶基板に代えて、例えばSiC基板が使用される。

(実施例)

以下、第二発明の効果を確認するために行なった実験結果について説明する。

10 まず、各層を以下の厚さにてMOVPE法により形成した発光素子ウェーハ50を用意した。

- ・ITO電極層30＝厚さ：0.8 μm (酸化錫含有率＝7質量%(残部は酸化インジウム)、高周波スパッタリングにて形成；

- ・電極接合層31

厚さ：5nm(ただし、ボンディングパッド直下領域のみ形成せず)

15 GaAs層として形成し、p型ドーパントとしてのZnを、ドーパント濃度が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 程度となるように拡散。その後、ITO電極層30にて被覆し、700℃で30秒熱処理した；

- ・AlGaAsクッション層20(組成： $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}$)

Zn(p型ドーパント)濃度： $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$

20 厚さ：0 μm 、0.1 μm 、0.5 μm 、1.5 μm 、3 μm 、5 μm 、10 μm ；

- ・p型AlGaInPクラッド層6($\text{Al}_{0.85}\text{Ga}_{0.15}\text{In}_{0.5}\text{P}$)

Zn(p型ドーパント)濃度： $3 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$

厚さ：0.5 μm ；

- ・AlGaInP活性層5(組成： $(\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$)

25 ノンドープ、厚さ：0.6 μm (発光波長600nm)；

- ・n型AlGaInPクラッド層4(組成： $(\text{Al}_{0.85}\text{Ga}_{0.15})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$)

Si(n型ドーパント)濃度: $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 、厚さ: $1 \mu\text{m}$ 。

上記発光素子ウェーハ50は、図2A～図3Eにて説明済みの工程により素子化した。なお、素子チップの大きさは $300 \mu\text{m}$ 四方の正形状である。また、ボンディングパッド9はAu製であり、寸法は直径 $100 \mu\text{m}$ の円状である。このボンディングパ

5 ッド9にAu製電極ワイヤを、周知のサーモソニックボンディング装置によりボンディングした。

得られた各素子は、以下の各特性を周知の方法にて測定した:

- ・発光輝度(I_v : 通電電流値を 20mA とした);
- ・順方向電圧(V_F : 通電電流値を 20mA とした)。

10 また、通電電流を 30mA に固定して100時間連続通電したときの、初期発光輝度と100時間通電後の発光輝度とを測定し、両者の比(%)を素子ライフとして求めた。

表3は、p型クラッド層6のZn(p型ドーパント)濃度を $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 、厚さを $0.5 \mu\text{m}$ に設定する一方、クッション層20のZn(p型ドーパント)濃度を $3 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ に設定し、両者の合計であるボンディング側半導体層の厚さを $0.5 \sim 11 \mu\text{m}$ の種々の値に設定したときの、発光輝度 I_v 、順方向電圧 V_F 及び素子ライフの測定結果を示すものである。

15

表3

ボンディング側半導体層厚さ(μm) (クッション層+P型クラッド層)	* 0.5	0.6	1.0	2.0	3.5	3.5	* 10.5
クッション層厚さ(μm)	0	0.1	0.5	1.5	3	5	* 10
I V (mCd)	62	73	83	74	77	80	81
V _F (V)	1.89	1.88	1.91	1.90	1.95	1.98	2.1
素子ライフ(%)	30	80	100	100	100	100	100

*は第二発明の範囲外であることを示す。

ボンディング側半導体層の厚さが0.6 μm 以上10 μm 未満の範囲に収まっている

るものは、発光輝度が高く順方向電圧も小さい。しかし、ボンディング側半導体層の厚さが0.6 μm 未満になると、ボンディングパッド9へ電極ワイヤ47を接合したときの損傷が発光層部24に及び、発光輝度及び素子ライフの低下を招いていることがわかる。また、ボンディング側半導体層の厚さが10 μm 以上になると、直列抵抗増大により順方向電圧が上昇していることがわかる。

表4は、p型クラッド層6の厚さを0.5 μm 、クッション層20の厚さを1 μm （つまり、ボンディング側半導体層厚さは1.5 μm ）とし、両者のZn（p型ドーパント）濃度を種々の組合せに設定して、それぞれ素子ライフを測定した結果を示すものである。

表 4

クラッド層ドーパント濃度: $3 \times 10^{17}/\text{cm}^3$

クッション層ドーパント濃度($/\text{cm}^3$)	素子ライフ(%)
1×10^{17}	100
2×10^{17}	100
3×10^{17}	100
7×10^{18}	90

クラッド層ドーパント濃度: $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$

クッション層ドーパント濃度($/\text{cm}^3$)	素子ライフ(%)
1×10^{17}	100
3×10^{17}	100
5×10^{17}	95
1×10^{18}	80

クラッド層ドーパント濃度: $7 \times 10^{17}/\text{cm}^3$

クッション層ドーパント濃度($/\text{cm}^3$)	素子ライフ(%)
3×10^{17}	90
5×10^{17}	90
7×10^{17}	85
1×10^{18}	70
* 2×10^{18}	40

*は第二発明の範囲外であることを示す。

この結果によると、クッション層20のZn(p型ドーパント)濃度をp型クラッド層6と

同等又はそれよりも小さく設定することにより、逆に設定した場合よりも素子ライフが相対的に向上していることがわかる。また、クッション層20のZn(p型ドーパント)濃度が $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上になると(つまり、ボンディング側半導体層のZn(p型ドーパント)濃度が $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ を超えると)、素子ライフは大幅に低下していることがわかる。

(第三発明)

図24は、第三発明の一実施形態である発光素子300を示す概念図である。発光素子300は、n型GaAs単結晶基板(以下、単に「基板」ともいう)7の一方の主表面上に、n型GaAsバッファ層2を介してAlGaInPよりなる発光層部24を形成し、
10 該発光層部24を覆うように、p型のクッション層20と、酸化物透明電極層としてのITO電極層30とをこの順序で形成したものである。さらに、ITO電極層30のほぼ中央部には、Au等にて構成されたボンディングパッド9が配置され、ここにAu等で構成された電極ワイヤ47が接合されている。他方、基板7の他方の主表面側には、Au-Ge-Ni合金等の金属からなる裏面電極層15が全面に形成されている。

15 発光層部24の構成は、図1と同じである。

また、クッション層20は、本実施形態ではZnをp型ドーパントとして添加したAlGaAs層(Al含有介在層:例えば $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ において、 $x=0.7$ 程度)よりなり、p型ドーパント濃度は、 $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $9 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下、望ましくは $9 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $6 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下の範囲内で、p型AlGaInPクラッド層6よりも
20 小さく設定されている。該クッション層20の厚さ t_2 は $0.1 \mu\text{m}$ 以上 $5 \mu\text{m}$ 以下、望ましくは $0.5 \mu\text{m}$ 以上 $3 \mu\text{m}$ 以下である。p型AlGaInPクラッド層6とクッション層20とはボンディング側半導体層60を構成し、その厚さ t_1 (つまり、p型AlGaInPクラッド層6とクッション層20との合計厚さ)は $0.6 \mu\text{m}$ 以上 $10 \mu\text{m}$ 未満である。

ITO電極層30とクッション層20との間には、ITO電極層30との接触抵抗を低減
25 する電極接合層31が、ITO電極層30と接する形で配置されている。該電極接合層31は、ITO電極層30との境界を含む部分が少なくともInGaAsとされた化合物

半導体層である。電極接合層31は、ITO電極層30の接合界面において、その形成領域と非形成領域とが混在している。具体的には、ボンディングパッド9の直下をなす第一領域PAが電極接合層31の非形成領域であり、光取出領域をなす残余の第二領域SAが電極接合層31の形成領域である。

- 5 そして、電極接合層31と発光層部24との間に配置された、AlGaAsよりなるクッション層20は、Alを含有した化合物半導体よりなるAl含有介在層を構成する。クッション層20は、電極接合層の形成領域(第二領域)SAと非形成領域(第一領域)PAとにまたがる形で配置されている。そして、図25に示すように、電極接合層31の非形成領域PAの全面に対応して、クッション層20(Al含有介在層)のITO電極層30側の最表層部に、Al酸化物よりなるAl系絶縁層11が選択的に形成されている。

- 10 電流拡散効果を高めるために電流拡散層を厚く形成した従来の発光素子においては、ボンディングパッドの直下領域外に電流を迂回させるために、電流拡散層中に逆の導電型を有するブロック層を埋め込み形成していたが、構造が複雑化し、製造工数も増大する欠点がある。しかし、上記発光素子300の構成によると、ボンディングパッド9の直下の第一領域PAにおいて、電極接合層31が省略され、かつ、その全域を覆う形でAl系絶縁層11が形成されていることで、光取出領域である第二領域SAへの電流迂回効果を簡単に達成することができる。また、ITO電極層30の下側に形成されているのは、シート抵抗の比較的高いクッション層20であるから、第二領域SAへ迂回した形で流れ込んだ電流が、クッション層20内で第一領域PA側へ逆流する不具合も生じにくい。

以下、図24の発光素子300の製造方法について説明する。

- 25 まず、図24に示すように、GaAs単結晶基板7の第一主表面に、n型GaAsバッファ層2を、次いで発光層部24として、n型AlGaInPクラッド層4、AlGaInP活性層5、及びp型AlGaInPクラッド層6(以上図24参照)、AlGaAsよりなるクッション層20(以上図26Aの工程参照)、及び電極接合層31となるGaAs層31'をこの順序にエピタキシャル成長させ、図26Bの工程の状態とする。ただし、この段階では、

ボンディングパッドの直下領域となるべき第一領域も含めてGaAs層31'で覆ってある。

これら各層のエピタキシャル成長は、第一発明及び第二発明の各実施形態と同じである。

- 5 次に、GaAs層31'を、周知のフォトリソグラフィ工程により、第一領域PAに形成されたGaAs層が除去されるようにパターニングする。GaAs層31'のパターニングは、例えばアンモニア／過酸化水素混合溶液をエッチング液とした化学エッチングにより行なうことができる。この場合、下地をなすクッション層20がAlGaAsにて構成されており、上記エッチング液によるGaAsエッチングのストップ層として機能する。これにより、GaAs層31'のみを選択エッチングすることができる。そして、エッチング時にクッション層20の最表層部には、アンモニア／過酸化水素混合溶液によるAlGaAs中のAlの選択酸化により、Al酸化物を主体とするAl系絶縁層11が形成される。すなわち、エッチング液がAl酸化物形成の媒体となる。Al系絶縁層11の厚さは、例えば100nm以上200nm以下とされる。Al系絶縁層11の厚さが100nm未満では絶縁効果が不足しやすくなり、200nmを超える膜厚は形成に長時間を有し、製造能率の低下を招くことにつながる。

- 次に、図26Bの工程に示すように、クッション層20上のパターニングされたGaAs層31'を覆うように、公知の高周波スパッタリング法により、ITOよりなるITO電極層30を形成する。図24を援用して説明すれば、ITO電極層30は、第二領域SAではGaAs層31'と接し、第一領域PAでは、クッション層20上のAl系絶縁層11(図25)と接して形成される。次に、この状態で炉の中に配置して、例えば窒素雰囲気中あるいはAr等の不活性ガス雰囲気中にて、600℃以上750℃以下(例えば700℃)の低温で、5秒以上120秒以下(例えば30秒)の短時間の熱処理を施す。これにより、ITO電極層30からGaAs層にInが拡散し、電極接合層31(図24)が得られる。該熱処理により電極接合層31は、ITO電極層との境界近傍におけるIn濃度 C_A が、InとGaとの合計濃度に対するInの原子比にて、0.1以上0.6以下とな

る。また、In濃度は、ITO電極層30から厚さ方向に遠ざかるにつれ連続的に減少するものとなり、ITO電極層30との境界近傍におけるIn濃度を C_A とし、これと反対側の境界位置におけるIn濃度を C_B としたとき、 C_B/C_A が0.8以下となるように調整される。なお、電極接合層31は、これと接するボンディング側半導体層部分、すなわち、クッション層20がAlGaAsにて構成されることも考慮し、接触抵抗を低減するために、p型ドーパント濃度が高く(例えば $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 程度)設定されている。

そして、図26Cの工程に示すように、基板7の第二主表面に真空蒸着法により裏面電極層15を形成する。そして、図26Dの工程に示すように、ITO電極層30上に、各発光素子チップに対応する領域毎にボンディングパッド9を配置し、適当な温度で電極定着用のベーキングを施すことにより、発光素子ウェーハ50が得られる。該発光素子ウェーハ50は、各発光素子チップ領域を分離するために図3Aの工程に示すようにハーフダイシングされ、さらに図3Bの工程に示すようにダイシング面の加工歪をメサエッチングにより除去した後、図3Cの工程に示すスクライビングにより発光素子チップ51に分離される。そして、図3Dの工程に示すように、裏面電極層15(図26C参照)をAgペースト等の導電性ペーストを用いて支持体を兼ねた端子電極9aに固着する一方、ボンディングパッド9に電極ワイヤ47を接合(ボンディング)し、図3Eの工程に示すように樹脂モールド52を形成することにより発光素子300が得られる。

各々Auよりなるボンディングパッド9に電極ワイヤ47を接合する場合、例えば、超音波溶接(あるいはサーモソニックボンディング)が用いられる。この超音波溶接の衝撃応力は、ITO電極層30を経てボンディングパッド9の直下のボンディング側半導体層60に及び、結晶欠陥等の損傷領域を形成する。例えば、ITO電極層30の直下に発光層部24が形成されていると、その損傷領域が発光層部24の奥深く、例えば活性層5にまで及び、発光輝度や素子ライフの低下など、特性不良につながる。しかし、第三発明の発光素子においては、図24に示すように、クッション層20

が介在しているため、損傷領域がクッション層20内に留まり、その影響が発光層部24の奥深くに及びにくいので、その分、発光輝度が損なわれる心配がない。

また、このクッション層20は、p型ドーパント濃度が $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $9 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下の範囲内で、p型AlGaInPクラッド層6よりも小さく設定されている。これにより、発光通電を継続したときに、クッション層20からp型AlGaInPクラッド層6へのp型ドーパントの拡散の、電氣的促進が生じにくくなり、素子ライフが向上する。p型AlGaInPクラッド層6のp型ドーパント濃度は、 $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 未満であり、ボンディング側半導体層60全体で見た場合、 $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 未満の範囲に収まっている。

10 また、クッション層20は、ドーパント濃度が低いのでシート抵抗は多少大きいですが、その上に導電率が非常に大きいITO電極層30が形成されているので、該ITO電極層30内にて電流を十分に拡げることができる。そして、クッション層20は、p型ドーパント濃度を前述の範囲に調整することで、層厚方向の導電性は十分に確保されているから、結果として発光層部24への均一な通電が可能となり、発光効率を高めることができる。

以下、第三発明の発光素子の種々の変形例を説明する(図24の発光素子300との共通部分には共通の符号を付与して、詳細な説明は省略する)。図27に示す発光素子310のように、第二領域SAに形成する電極接合層31は、形成領域と非形成領域とを混在させることができる。この混在パターンは、前述のフォトリソグラフィによるGaAs層31'のパターニングにより形成できる。該構成では、光取り出し量が多い第二領域SAにおいて電極接合層31の形成領域と非形成領域とを混在させることにより、発光層部24で生じた光は電極接合層31を透過する経路と、非形成領域において電極接合層31を迂回する経路との2通りの経路にて取り出される。このうち、後者においては、電極接合層31を透過する際の光吸収を生じないので、
25 光取出効率を向上させることができる。また、図28に示すように、電極接合層31の非形成領域に露出するクッション層20の最表層部はAl系絶縁層11で覆われて

いるから、発光駆動電流を電極接合層31にのみ効果的に集中できる。そして、第二領域SA内に分布する電極接合層31を介して、光取出領域直下の発光層部に電流を均一に分配できるので、発光効率をより高めることができる。

5 第二領域SAにおいて電極接合層31の形成領域と非形成領域とを混在させる場合、図29の発光素子320のように、金属(例えばAuGe合金)よりなる電極接合層131を分散形成してもよい。

図30に示す発光素子330は、クッション層120をGaPにて構成している(ドーパント濃度の範囲は、AlGaAsにて構成したクッション層20と同じである:また、他の層は図24の発光素子と同様に構成する)。この場合、ITO電極層30の成膜時や、
10 電極接合層31を形成するための熱処理時に、GaPよりなるクッション層120から、電極接合層31を経てITO電極層30にリンが拡散し、ITO電極層30の電極接合層31への密着強度が低下する可能性がある。この場合、特に、図26Dの工程に示すボンディングパッド9のフォトリソグラフィーによるパターンニング処理や、図3Aの工程のハーフダイシング、さらには図3Bの工程のメサエッチング時に、ITO電極層
15 30が剥離しやすくなり、不良や歩留まり低下を招きやすくなる。

そこで、GaPよりなるクッション層120と電極接合層31との間に、例えばAlGaAsよりなるリンブロック層(AI含有介在層)32を介挿しておく、クッション層20からITO電極層30へのリンの拡散を効果的に抑制することができ、また、AlGaInPよりなる発光層部からの発光光束の吸収も生じにくい。この場合、リンブロック層32は
20 AlGaAsにて構成されることで、前述の中間層(図20参照)としての機能も果たす。なお、リンブロック層32と電極接合層31との合計厚さは、20nm以上とすることが望ましい。この実施形態では、リンブロック層32がクッション層120を覆う形で形成される一方、電極接合層31は図29と同様にパターンニングされ、電極接合層31の非形成領域においてリンブロック層32の最表層部に、図25あるいは図28に示す
25 AI系絶縁層11が形成される。

なお、図24、図27、図29及び図30においては、GaPないしAlGaAsよりなるクッ

ション層 20,120 のドーパント濃度は、クラッド層 6 のドーパント濃度よりも低く設定されているが、これらクッション層 20,120 の代わりに、クッション層 20,120 と同程度の厚さを有した、GaPないしAlGaAsよりなる電流拡散層を設けることもできる（電流拡散層は、クラッド層6よりもドーパント濃度が高く設定される）。

- 5 図31の発光素子340においては、ボンディング側化合物半導体層60（中間層32を除いた部分）の全体を、p型AlGaInPクラッド層（第二導電型クラッド層）6として構成している。この場合、p型AlGaInPクラッド層6の厚さ t_1 を0.6 μm 以上10 μm 未満とし、そのp型ドーパント濃度を $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 未満に調整する。この構成では、n型AlGaInPクラッド層4は、電極ワイヤ47の接合
- 10 による損傷の影響がほとんど及ばないため、その厚さ t_3 はp型AlGaInPクラッド層6の厚さ t_1 より小さく設定することができる。

上記構成において、Inを含有したGaAsよりなる電極接合層31は、図19及び図20を用いて既に説明した通り、p型AlGaInPクラッド層6に直接接触させると両者の間に形成されるヘテロ障壁がやや高くなり、接触抵抗の増大を招くことがある。そ

- 15 こで、電極接合層31とp型AlGaInPクラッド層6との間に、AlGaAsよりなる中間層32を配置してある。そして、この中間層32がリンブロック層（Al含有介在層）を兼ねている。電極接合層31は図29と同様にパターンニングされ、電極接合層31の非形成領域において中間層（リンブロック層）32の最表層部に、図25あるいは図28に示すAl系絶縁層11が形成されている。

特許請求の範囲

1. 第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有する化合物半導体よりなる発光層部を有し、前記第二導電型クラッド層の主表面を覆う酸化物透明電極層を介して前記発光層部に発光

5 駆動電圧を印加するようにした発光素子において、

前記酸化物透明電極層上に金属製のボンディングパッドが配置され、該ボンディングパッドに通電用の電極ワイヤが接合されてなり、

また、前記第二導電型クラッド層と前記酸化物透明電極層との間には、前記第二導電型クラッド層よりもドーパント濃度が低い化合物半導体層により構成されたクッ

10 ション層が配置されたことを特徴とする発光素子。

2. 前記クッション層の厚さが $0.1\ \mu\text{m}$ 以上 $5\ \mu\text{m}$ 以下とされたことを特徴とする請求項1記載の発光素子。

3. 前記クッション層と前記第二導電型クラッド層との合計厚さが $0.6\ \mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求項1記載の発光素子。

15 4. 前記クッション層と前記酸化物透明電極層との間に、前記酸化物透明電極層の接合抵抗を減ずるための電極接合層が、該酸化物透明電極層に接するように配置され、

前記電極接合層は、前記ボンディングパッドの直下領域からなる第一領域において周囲の第二領域よりも形成面積率が小さいことを特徴とする請求項1記載の発光
20 素子。

5. 前記第一領域に前記電極接合層が形成されていないことを特徴とする請求項4記載の発光素子。

6. 前記酸化物透明電極層はITO電極層であり、前記クッション層と前記ITO電極層との間に、前記ITO電極層の接合抵抗を減ずるための電極接合層が、該ITO電

25 極層に接するように配置され、

前記クッション層がリンを含有したリン含有化合物半導体層とされ、

該クッション層と前記電極接合層との間に、前記電極接合層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつリンの含有率が前記リン含有化合物半導体層よりも低いリンブロック層が形成されたことを特徴とする請求項1記載の発光素子。

7. 前記リンブロック層がリンを含有しない化合物半導体よりなることを特徴とする請求項6記載の発光素子。

8. 前記リンブロック層がAlGaAsよりなることを特徴とする請求項7記載の発光素子。

9. 前記リンブロック層は、前記クッション層を構成するリン含有化合物半導体よりもバンドギャップエネルギーが小さく、前記電極接合層よりはバンドギャップエネルギーが大きい中間層であることを特徴とする請求項6記載の発光素子。

10. 前記クッション層がGaPよりなり、前記リンブロック層がAlGaAsよりなり、前記電極接合層が、Inを含有したGaAsよりなることを特徴とする請求項9記載の発光素子。

11. 前記酸化物透明電極層はITO電極層であり、前記クッション層と前記ITO電極層との間に、前記ITO電極層の接合抵抗を減ずるための電極接合層が、該ITO電極層に接するように配置され、

前記第二導電型クラッド層がリンを含有したリン含有化合物半導体層とされ、

前記クッション層が、前記電極接合層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつリンの含有率が前記リン含有化合物半導体層よりも低いリンブロック層とされたことを特徴とする請求項1記載の発光素子。

12. 前記リンブロック層をなす前記クッション層がリンを含有しない化合物半導体よりなることを特徴とする請求項11記載の発光素子。

13. 前記リンブロック層をなす前記クッション層がAlGaAsよりなることを特徴とする請求項12記載の発光素子。

14. 第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有する化合物半導体よりなる発光層部を有し、前記第

二導電型クラッド層の主表面を覆う酸化物透明電極層を介して前記発光層部に発光駆動電圧を印加するようにした発光素子の製造方法において、

前記発光層部の前記第二導電型クラッド層上に、該第二導電型クラッド層よりもドーパント濃度が低い化合物半導体層により構成されたクッション層を形成する工程と、

そのクッション層を覆うように酸化物透明電極層を形成する工程と、

該酸化物透明電極層上に金属製のボンディングパッドを形成する工程と、

該ボンディングパッドに通電用の電極ワイヤを接合する工程と、

をこの順序にて行なうことを特徴とする発光素子の製造方法。

10 15. 前記クッション層を $0.1\ \mu\text{m}$ 以上 $5\ \mu\text{m}$ 以下の厚さにて形成することを特徴とする請求項14記載の発光素子の製造方法。

16. 第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有する化合物半導体よりなる発光層部を有し、前記第二導電型クラッド層の主表面を覆う酸化物透明電極層を介して前記発光層部に発光駆動電圧を印加するようにした発光素子において、

前記酸化物透明電極層上に金属製のボンディングパッドが配置され、該ボンディングパッドに通電用の電極ワイヤが接合されてなり、

前記酸化物透明電極層の接合抵抗を減ずるための化合物半導体よりなる電極接合層が、該酸化物透明電極層に接するように配置されてなり、

20 さらに、前記活性層と前記電極接合層との間に位置する前記第二導電型クラッド層を含む化合物半導体層をボンディング側半導体層として、該ボンディング側化合物半導体層は、ドーパント濃度が $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 未満であり、かつ、厚さが $0.6\ \mu\text{m}$ 以上 $10\ \mu\text{m}$ 未満とされたことを特徴とする発光素子。

25 17. 前記ボンディング側半導体層は、前記第二導電型クラッド層と、該第二導電型クラッド層の前記酸化物透明電極層側に接して配置され、該第二導電型クラッド層よりも低いドーパント濃度の化合物半導体よりなるクッション層とを有する請求項

16記載の発光素子。

18. 前記クッション層の厚さが $0.1\mu\text{m}$ 以上 $5\mu\text{m}$ 以下とされたことを特徴とする請求項16記載の発光素子。

19. 前記ボンディング側半導体層は、厚さが $0.6\mu\text{m}$ 以上 $10\mu\text{m}$ 未満の前記

5 第二導電型クラッド層よりなることを特徴とする請求項16記載の発光素子。

20. 前記第一導電型クラッド層が前記第二導電型クラッド層よりも薄く形成されたことを特徴とする請求項19記載の発光素子。

21. 前記酸化物透明電極層はITO電極層であり、前記電極接合層は、前記ITO電極層との接合界面において $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$)であることを特徴とする請

10 求項16記載の発光素子。

22. 前記電極接合層の厚さ方向におけるIn濃度分布が、前記ITO電極層から厚さ方向に遠ざかるにつれ連続的に減少するものとされていることを特徴とする請求項16記載の発光素子。

15 23. 前記電極接合層を構成する半導体として、これと接する前記ボンディング側半導体層部分よりもバンドギャップエネルギーが小さいものを使用し、かつ、前記電極接合層中のドーパント濃度を前記ボンディング側半導体層部分よりも高く設定したことを特徴とする請求項16記載の発光素子。

24. 前記電極接合層は、ドーパント濃度が前記ボンディング側半導体層と同じか、またはそれよりも低いことを特徴とする請求項16記載の発光素子。

20 25. 前記電極接合層は、前記ボンディングパッドの直下領域からなる第一領域において周囲の第二領域よりも形成面積率が小さいことを特徴とする請求項16記載の発光素子。

26. 前記第一領域に前記電極接合層が形成されていないことを特徴とする請求項25記載の発光素子。

25 27. 前記酸化物透明電極層がITO電極層であり、

前記ボンディング側半導体層は、少なくとも前記電極接合層との境界を含む第一

層と、該第一層と前記活性層との間に位置する第二層とを有してなり、前記第二層の少なくとも前記第一層との境界を含む領域がリンを含有したリン含有化合物半導体層とされ、他方、前記第一層が前記電極接合層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつリンの含有率が前記リン含有化合物半導体層よりも低いリンブロック層とされたことを特徴とする請求項16記載の発光素子。

28. 第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有する化合物半導体よりなる発光層部を有し、前記第二導電型クラッド層の主表面を覆うITO電極層を介して前記発光層部に発光駆動電圧を印加するようにした発光素子において、

10 前記ITO電極層上に金属製のボンディングパッドが配置され、該ボンディングパッドに通電用の電極ワイヤが接合されてなり、

前記ITO電極層の接合抵抗を減ずるための化合物半導体よりなる電極接合層が、該ITO電極層に接するように配置されてなり、

さらに、前記活性層と前記電極接合層との間に位置する前記第二導電型クラッド層を含む化合物半導体層をボンディング側半導体層として、該ボンディング側化合物半導体層は、厚さが0.6 μm 以上10 μm 未満とされ、かつ、少なくとも前記電極接合層との境界を含む第一層と、該第一層と前記活性層との間に位置する第二層とを有してなり、前記第二層の少なくとも前記第一層との境界を含む領域がリンを含有したリン含有化合物半導体層とされ、他方、前記第一層が前記電極接合層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつリンの含有率が前記リン含有化合物半導体層よりも低いリンブロック層とされたことを特徴とする発光素子。

29. 前記リンブロック層はリンを含有しない化合物半導体よりなることを特徴とする請求項28記載の発光素子。

30. 前記リンブロック層がAlGaAsよりなることを特徴とする請求項29記載の発光素子。

31. 前記ボンディング側半導体層は、前記第二導電型クラッド層と、該第二導電

型クラッド層の前記酸化物透明電極層側に接して配置され、前記第二導電型クラッド層とは異なる組成の化合物半導体により前記リン含有化合物半導体層として構成された補助化合物半導体層と、該補助化合物半導体層と前記電極接合層との間に配置された前記リンブロック層とからなることを特徴とする請求項28記載の発光素子。

32. 前記補助化合物半導体層がGaPよりなることを特徴とする請求項29記載の発光素子。

33. 前記ボンディング側半導体層の前記電極接合層との境界を含む部分を、該部分に対し前記電極接合層と反対側から接するボンディング側半導体層部分よりもバンドギャップエネルギーが小さく、電極接合層よりはバンドギャップエネルギーが大きい中間層とし、該中間層が前記リンブロック層とされてなることを特徴とする請求項31記載の発光素子。

34. 前記中間層がAlGaAsよりなる請求項33記載の発光素子。

35. 前記ボンディング側半導体層は、前記第二導電型クラッド層と、該第二導電型クラッド層の前記酸化物透明電極層側に接して配置され、前記第二導電型クラッド層とは異なる組成の化合物半導体により前記リンブロック層として構成された補助化合物半導体層とからなり、該補助化合物半導体層に前記電極接合層が接して配置されてなることを特徴とする請求項28記載の発光素子。

36. 前記補助化合物半導体層がAlGaAsよりなる請求項35記載の発光素子。

37. 前記補助化合物半導体層が、前記第二導電型クラッド層よりも低いドーパント濃度の化合物半導体よりなるクッション層であることを特徴とする請求項31記載の発光素子。

38. 前記ボンディング側半導体層は、厚さが $0.6\ \mu\text{m}$ 以上 $10\ \mu\text{m}$ 未満の前記第二導電型クラッド層を有し、該第二導電型クラッド層が前記リン含有化合物半導体層として構成され、該第二導電型クラッド層と接する形で前記リンブロック層が配置されてなることを特徴とする請求項28記載の発光素子。

39. 前記リソブロック層は、前記第二導電型クラッド層よりもバンドギャップエネルギーが小さく、電極接合層よりはバンドギャップエネルギーが大きい中間層とされてなることを特徴とする請求項38に記載の発光素子。

40. 前記第二導電型クラッド層がAlGaInPよりなり、

5 前記中間層がAlGaAsよりなることを特徴とする請求項39に記載の発光素子。

41. 第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有する化合物半導体よりなる発光層部を有し、前記第二導電型クラッド層の主表面を覆う酸化物透明電極層を介して前記発光層部に発光駆動電圧を印加するようにした発光素子の製造方法において、

10 前記発光層部の前記活性層上に、前記第二導電型クラッド層を含む化合物半導体層であるボンディング側半導体層を、ドーパント濃度が $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 未満となり、かつ、厚さが $0.6 \mu\text{m}$ 以上 $10 \mu\text{m}$ 未満となるように形成する工程と、

前記ボンディング側半導体層上に、前記酸化物透明電極層の接合抵抗を減ずるための化合物半導体よりなる電極接合層を形成する工程と、

前記酸化物透明電極層を、前記電極接合層と接し、かつ前記第二導電型クラッド層の主表面を覆うように形成する工程と、

該酸化物透明電極層上に金属製のボンディングパッドを形成する工程と、

該ボンディングパッドに通電用の電極ワイヤを接合する工程と、

20 をこの順序にて行なうことを特徴とする発光素子の製造方法。

42. 化合物半導体層からなる発光層部と、該発光層部に発光駆動電圧を印加するための酸化物透明電極層とを有し、前記発光層部からの光を、前記酸化物透明電極層を透過させる形で取り出すようにした発光素子において、

前記酸化物透明電極層上に金属製のボンディングパッドが配置され、該ボンディングパッドに通電用の電極ワイヤが接合されてなり、

25

前記発光層部と前記酸化物透明電極層との間に、前記酸化物透明電極層の接合

抵抗を減ずるための電極接合層が、該酸化物透明電極層に接するように配置され、前記酸化物透明電極層との接合界面において、前記電極接合層の形成領域と非形成領域とが混在するとともに、

前記電極接合層と前記発光層部との間に、Alを含有したAl含有介在層が前記電極接合層の形成領域と非形成領域とにまたがる形で配置され、該Al含有介在層は、前記電極接合層の形成領域において前記電極接合層と接するAl含有化合物半導体層と、前記電極接合層の非形成領域に選択的に形成された、少なくとも前記酸化物透明電極層側の最表層部をなすAl系絶縁層とを有することを特徴とする発光素子。

43. 前記電極接合層は化合物半導体又は金属よりなることを特徴とする請求項42記載の発光素子。

44. 前記発光層部はAlGaInPにより、第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有するものとして構成されている請求項42記載の発光素子。

45. 前記酸化物透明電極層の前記接合界面は、ボンディングパッドの直下領域からなる第一領域と残余の第二領域とを有し、前記第一領域は、前記電極接合層の非形成領域の形成面積率が、前記第二領域よりも大きいことを特徴とする請求項42記載の発光素子。

46. 前記第一領域の全体が前記電極接合層の非形成領域とされ、該非形成領域の全域において前記Al系絶縁層が形成されてなることを特徴とする請求項45記載の発光素子。

47. 前記第二領域において、前記電極接合層の形成領域と非形成領域とが混在してなり、該非形成領域の全域において前記Al系絶縁層が形成されてなることを特徴とする請求項44記載の発光素子。

48. 前記第二領域において前記電極接合層が化合物半導体又は金属にて構成されることを特徴とする請求項47記載の発光素子。

49. 前記酸化物透明電極層がITO電極層であり、前記電極接合層がリンを含有しない化合物半導体よりなり、前記Al含有介在層の前記酸化物透明電極層が位置しているのと反対側にリン含有化合物半導体層が接して配置され、前記Al含有介在層は、前記電極接合層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつリンの含有率

5 率が前記リン含有化合物半導体層よりも低いリンブロック層とされたことを特徴とする請求項42記載の発光素子。

50. 前記リンブロック層はリンを含有しない化合物半導体よりなることを特徴とする請求項49記載の発光素子。

51. 前記リンブロック層がAlGaAsよりなることを特徴とする請求項50記載の発光素子。

10

52. 前記発光層部は、第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有する化合物半導体よりなり、

前記ボンディングパッドに通電用の電極ワイヤが接合されてなり、

さらに、前記活性層と前記電極接合層との間に位置する前記第二導電型クラッド層を含む化合物半導体層をボンディング側半導体層として、該ボンディング側化合物半導体層は、厚さが0.6 μm 以上10 μm 未満とされ、かつ、少なくとも前記電極接合層との境界を含む第一層と、該第一層と前記活性層との間に位置する第二層とを有してなり、前記第二層の少なくとも前記第一層との境界を含む領域がリンを含有したリン含有化合物半導体層とされ、他方、前記第一層が前記リンブロック層とされたことを特徴とする請求項49記載の発光素子。

15

20

53. 前記ボンディング側半導体層は、前記第二導電型クラッド層と、該第二導電型クラッド層の前記ITO電極層側に接して配置され、前記第二導電型クラッド層とは異なる組成の化合物半導体により前記リン含有化合物半導体層として構成されたクッション層と、該クッション層と前記電極接合層との間に配置された前記リンブロック層とからなることを特徴とする請求項52記載の発光素子。

25

54. 前記クッション層がGaPよりなることを特徴とする請求項53記載の発光素子。

子。

55. 前記ボンディング側半導体層の前記電極接合層との境界を含む部分を、該部分に対し前記電極接合層の反対側から接するボンディング側半導体層部分よりもバンドギャップエネルギーが小さく、電極接合層よりはバンドギャップエネルギー

5 が大きい中間層とし、該中間層が前記リンブロック層とされてなることを特徴とする請求項53記載の発光素子。

56. 前記発光層部がAlGaInPよりなり、前記中間層がAlGaAsよりなる請求項55記載の発光素子。

57. 前記ボンディング側半導体層は、前記第二導電型クラッド層と、該第二導電型クラッド層の前記酸化物透明電極層側に接して配置され、前記第二導電型クラッド層とは異なる組成の化合物半導体により前記リンブロック層として構成されたクッション層とからなり、該クッション層に前記電極接合層が接して配置されてなることを特徴とする請求項52記載の発光素子。

10

58. 前記クッション層がAlGaAsよりなる請求項57記載の発光素子。

59. 前記クッション層が、前記第二導電型クラッド層よりも低いドーパント濃度の化合物半導体よりなることを特徴とする請求項53記載の発光素子。

15

60. 前記ボンディング側半導体層は、厚さが0.6 μm 以上10 μm 未満の前記第二導電型クラッド層を有し、該第二導電型クラッド層が前記リン含有化合物半導体層として構成され、該第二導電型クラッド層と接する形で前記リンブロック層が配置されてなることを特徴とする請求項52記載の発光素子。

20

61. 前記リンブロック層は、前記第二導電型クラッド層よりもバンドギャップエネルギーが小さく、電極接合層よりはバンドギャップエネルギーが大きい中間層とされてなることを特徴とする請求項60記載の発光素子。

62. 前記第二導電型クラッド層がAlGaInPよりなり、

25 前記中間層がAlGaAsよりなることを特徴とする請求項61記載の発光素子。

63. 発光層部を有した化合物半導体層の少なくとも一方の主表面に、Al系絶縁

層が前記主表面の一部領域を覆う形で選択的に形成された発光素子の製造方法であって、

前記化合物半導体層を成長する際に、その表層部にAl含有化合物半導体層と、Al非含有化合物半導体層とを、Al非含有化合物半導体層が最表面側に配置されるように成長する化合物半導体層成長工程と、

前記Al非含有化合物半導体層の一部領域を、前記Al含有化合物半導体層をエッチストップ層として化学エッチングすることにより除去してパターニングするとともに、当該Al非含有化合物半導体層の除去領域に露出したAl含有化合物半導体層の少なくとも表層部を、前記化学エッチングのエッチング液と反応させて前記Al系絶縁層となす選択エッチング工程と、

を含むことを特徴とする発光素子の製造方法。

64. 前記Al含有化合物半導体層がAlGaAsであり、前記Al非含有化合物半導体層がGaAsであり、前記エッチング液がアンモニア／過酸化水素混合溶液であることを特徴とする請求項63記載の発光素子の製造方法。

要約書

酸化物透明電極層を発光駆動用の電極として有し、かつ電極ワイヤをボンディングパッドへ溶接する際の損傷の影響が発光層部に及びにくい発光素子を提供する。

- 5 発光素子は、第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有する化合物半導体よりなる発光層部を有し、第二導電型クラッド層の主表面を覆う酸化物透明電極層を介して発光層部に発光駆動電圧が印加される。酸化物透明電極層上には金属製のボンディングパッドが配置され、該ボンディングパッドに通電用の電極ワイヤが溶接されている。そして、
- 10 第二導電型クラッド層と酸化物透明電極層との間には、第二導電型クラッド層よりもドーパント濃度が低い化合物半導体層により構成されたクッション層が配置されている。